



Escola Politècnica Superior  
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# PROJECTE FI DE CARRERA

**TÍTOL:** OPTIMITZACIÓ DE LA PRODUCCIÓ D'UNA FÀBRICA D'EINES DE TALL APLICANT LA TEORIA DE LES LIMITACIONS.

**AUTOR:** FERNANDO MEDINA SIGÜEIRO

**TITULACIÓ:** ENGINYERIA TÈCNICA INDUSTRIAL, ESPECIALITAT EN ELECTRÒNICA INDUSTRIAL.

**DIRECTOR:** GIL-SOLÀ, ÒSCAR

**DEPARTAMENT:** OE - ORGANITZACIÓ D'EMPRESES

**DATA:** 17 de SETEMBRE de 2.015

**TÍTOL:** OPTIMITZACIÓ DE LA PRODUCCIÓ D'UNA FÀBRICA D'EINES DE TALL APLICANT LA TEORIA DE LES LIMITACIONS.

**COGNOMS:** MEDINA SIGÜEIRO

**NOM:** FERNANDO

**TITULACIÓ:** ENGINYERIA TÈCNICA INDUSTRIAL.

**ESPECIALITAT:** ELECTRÒNICA INDUSTRIAL

**PLA:** 95

**DIRECTOR:** GIL-SOLÀ, ÒSCAR

**DEPARTAMENT:** OE - ORGANITZACIÓ D'EMPRESSES

**QUALIFICACIÓ DEL PFC**

**TRIBUNAL**

**PRESIDENT**

VILÀ MARTÍ,  
FREDERIC

**SECRETÀRIA**

ARNO MACIA,  
ELISABET

**VOCAL**

PERAT BENAVIDES,  
JOSE IGNACIO

**DATA DE LECTURA:** 17 de SETEMBRE de 2.015

Aquest Projecte té en compte aspectes mediambientals:   🍏 Sí

## PROJECTE FI DE CARRERA

### RESUM (màxim 50 línies)

El present Projecte de Final de Carrera tracta el cas real d'una fàbrica d'eines de tall. Entre serres i corones de tall conformen un total de quatre línies de producte.

L'objectiu fixat al PFC és la definició d'un sistema de producció optimitzat, el qual permeti assolir els objectius de producció establerts, assegurant la qualitat, optimitzant els recursos i ajustant els costos.

Per tal d'aconseguir aquests objectius, s'escull la implantació a la fàbrica d'un programa de millora contínua basat en la Teoria de les Limitacions (TOC).

Bàsicament, aquesta teoria sosté que dins de tot procés sempre existeix un recurs determinat que és la limitant del sistema. Aquest recurs rep el nom de coll d'ampolla i ell és el que estableix la capacitat de la totalitat del procés. Tan sols es pot aconseguir un augment de la capacitat de la línia actuant sobre el coll d'ampolla. Partint d'aquesta hipòtesi, la TOC proposa un mètode iteratiu de 5 punts per a la identificació i explotació del coll d'ampolla, el qual ha de permetre superar aquesta restricció.

La TOC també defineix un sistema de planificació de l'activitat basat en el sistema de gestió anomenat Drum – Buffer – Rope (DBR), el qual ha de permetre que el procés assoleixi la capacitat màxima definida pel coll d'ampolla.

De manera complementària a la TOC, en aquest PFC s'utilitzen també eines metodològiques pròpies de la *Producció Lean*, com són el *Visual Stream Mapping (VSM)*, per l'anàlisi de la cadena de valor i la detecció del coll d'ampolla; i el sistema *Kanban* de control d'inventaris, que facilitarà l'adaptació del sistema D-B-R dins la línia productiva.

S'aplica la TOC a les línies productives de corones i de serres de mà. Per tal de definir el coll d'ampolla s'analitzen els processos a través del VSM, del qual se n'obtenen les capacitats dels recursos, els nivells d'inventaris, els Lead Time i els temps de valor afegit. Un cop definit el coll d'ampolla s'estableixen les mesures escaients per a superar la restricció i per avaluar la idoneïtat es modelitzen través de nou amb el VSM.

A través de la TOC, el PFC presenta tres alternatives per a la línia de corones de tall, les quals permeten un

estalvi respecte a l'estat inicial de fins a 35 dies de Lead Time i 33.000 unitats d'inventari. En el cas de la línia de corones, es proposa un sol model que permet un increment d'un 16,9% en la producció, amb reduccions d'un 13,5% d'inventari, i de fins el 66% en el Lead Time.

A tenor de les xifres assolides pels models, el sistema de millora continua TOC implantat optimitza els processos satisfactòriament.

**Paraules clau (màxim 10):**

TOC	Theory Of Constraints	Teoria de les Limitacions	Kanban
VSM	Visual Stream Mapping	Planificació de la Producció	Producció Lean



Dedicat als meus pares, l'Antonio i la Virtudes,  
i a mon germà, en Toni.  
A la meva dona, la Yolanda,  
i a la meva estimada creació, el meu fill Biel.

<b>1. TAULA DE CONTINGUT</b>	
<b>2. INTRODUCCIÓ</b>	<b>9</b>
<b>3. OBJECTIUS</b>	<b>10</b>
<b>4. MOTIVACIONS PERSONALS</b>	<b>11</b>
<b>5. ANTECEDENTS: ESCENARI INICIAL</b>	<b>12</b>
5.1. L'EMPRESA	12
5.2. ORGANIGRAMA	12
5.3. DEFINICIÓ DELS PROCESSOS	13
5.3.1. PROCESSOS OPERATIUS: PRODUCCIÓ	13
5.3.1.1. PLANIFICACIÓ DE LA PRODUCCIÓ	13
5.3.1.2. LÍNIES PRODUCTIVES	13
5.3.1.3. EXTERNALITZACIONS	14
5.3.2. PROCESSOS ESTRATÈGICS: GESTIÓ DE LA QUALITAT	15
5.4. MERCAT	15
5.5. DESCRIPCIÓ DELS PRODUCTES FABRICATS	16
5.5.1. SERRA DE MÀ	16
5.5.1.1. SERRA DE MÀ D'ACER RÀPID TIPUS HRF I BRP	16
5.5.1.2. SERRA DE MÀ DE CARBONI TIPUS HEF O BHEF	17
5.5.1.3. SERRA DE MÀ DE CARBONI, D'ACER SÚPER RÀPID I DE BIMETALL	18
5.5.1.4. SERRA DE MÀ DE CROM (HCF, HCFDC I BCEF) I DE WOLFRAMI (HCW I BCW)	18
5.5.3. SERRA DE CINTA	20
5.5.3.1. SERRA DE CINTA DE CARBONI	20
5.5.4. SERRA DE CORONA	21
5.5.5. SERRA DE CALAR I SERRA DE SABLE	23
<b>6. MARC TEÒRIC: EINES METODOLÒGIQUES</b>	<b>24</b>
6.1. TEORIA DE LES LIMITACIONS: FONAMENTS TEÒRICS	24
6.1.1. HISTÒRIA	24
6.1.2. LA META	24
6.1.3. LES LIMITACIONS	24
6.1.4. MÈTODE DRUM - BUFFER - ROPE (DBR)	25
6.1.5. METODOLOGIA D'IMPLANTACIÓ DE LA TOC EN UN PROCÉS	25
6.2. VALUE STREAM MAPPING: FONAMENTS TEÒRICS	28
6.2.1. DEFINICIÓ	28
6.2.2. OBJECTIU	28
6.2.3. METODOLOGIA	28
6.2.1. ICONES UTILITZADES EN L'ELABORACIÓ DEL VSM	30
6.3. KANBAN: FONAMENTS TEÒRICS	32
6.3.1. DEFINICIÓ	32
6.3.2. OBJECTIU	32
6.3.3. METODOLOGIA	32
6.3.4. TIPUS DE KANBAN	32
6.3.4.1. SEGONS LA NATURALESA DE LA FONT "A"	32
6.3.4.2. SEGONS LA RELACIÓ ENTRE LA FONT "A" I EL RECEPTOR "B"	33
6.3.4.3. SEGONS EL CANAL DE COMUNICACIÓ DEL KANBAN	33
6.3.4.4. SEGONS LA INFORMACIÓ QUE INCLOU LA TARJA KANBAN	33
6.3.5. PRINCIPIS DEL SISTEMA KANBAN	33
6.3.6. CONCLUSIONS	34
<b>7. APLICACIÓ PRÀCTICA DE LES METODOLOGIES DEFINIDES</b>	<b>35</b>
<b>8. LÍNIA DE CORONES</b>	<b>36</b>
8.1. SITUACIÓ INICIAL	36
8.2. ANÀLISI DE COSTOS	39
8.3. ASPECTES A FAVOR	40
8.4. ASPECTES EN CONTRA	41

<b>8.5. APLICACIÓ DE LA GESTIÓ KANBAN DEL SUPERMERCAT DE LA FASE 8 .....</b>	<b>48</b>
<b>8.6. APLICACIÓ PROGRAMA DE POLIVALÈNCIA DEL PERSONAL .....</b>	<b>49</b>
<b>8.7. APLICACIÓ DE LA TEORIA DE LES LIMITACIONS A LA LÍNIA DE CORONES .....</b>	<b>50</b>
<b>8.7.1. TRES ESCENARIS PRODUCTIUS DE FUTUR POSSIBLES: .....</b>	<b>50</b>
<b>8.7.1.1. EXTERNALITZACIÓ A UN PROVEÏDOR DE L'ÀSIA.....</b>	<b>50</b>
1) IDENTIFICACIÓ DEL COLL D'AMPOLLA: .....	50
2) DECISIÓ SOBRE COM EXPLOTAR EL COLL D'AMPOLLA:.....	50
3. SUBORDINACIÓ DE TOT A LA DECISIÓ ANTERIOR:.....	58
4. SUPERACIÓ DE LA RESTRICCIÓ DEL SISTEMA ELEVANT LA SEVA CAPACITAT: .....	61
3) SI LA LIMITACIÓ S'HA SUPERAT, TORNAR A REALITZAR EL CICLE DES DEL PAS NÚMERO 1) .....	62
ANÀLISI DE COSTOS DEL MODEL EXTERNALITZACIÓ A L'ÀSIA.....	62
<b>8.7.1.2. EXTERNALITZACIÓ A DINS DE LA PRÒPIA PROVÍNCIA.....</b>	<b>65</b>
1) IDENTIFICACIÓ DEL COLL D'AMPOLLA: .....	65
2) DECISIÓ SOBRE COM EXPLOTAR EL COLL D'AMPOLLA:.....	65
3) SUBORDINACIÓ DE TOT A LA DECISIÓ ANTERIOR:.....	71
4) SUPERACIÓ DE LA RESTRICCIÓ DEL SISTEMA ELEVANT LA SEVA CAPACITAT: .....	75
5) SI LA LIMITACIÓ S'HA SUPERAT, TORNAR A REALITZAR EL CICLE DES DEL PAS NÚMERO 1) .....	75
ANÀLISI DE COSTOS DEL MODEL DINS LA PRÒPIA PROVÍNCIA .....	76
<b>8.7.1.3. INTERNAMENT, A DINS DE LA LÍNIA DE CORONES.....</b>	<b>78</b>
1) IDENTIFICACIÓ DEL COLL D'AMPOLLA: .....	78
2) DECISIÓ SOBRE COM EXPLOTAR EL COLL D'AMPOLLA:.....	78
3) SUBORDINACIÓ DE TOT A LA DECISIÓ ANTERIOR:.....	84
4) SUPERACIÓ DE LA RESTRICCIÓ DEL SISTEMA ELEVANT LA SEVA CAPACITAT: .....	87
5) SI LA LIMITACIÓ S'HA SUPERAT, TORNAR A REALITZAR EL CICLE DES DEL PAS NÚMERO 1) .....	88
ANÀLISI DE COSTOS DEL MODEL DINS DE LÍNIA.....	88
<b>9. LÍNIA DE SERRA DE MÀ .....</b>	<b>91</b>
<b>9.1. SITUACIÓ INICIAL .....</b>	<b>91</b>
<b>9.2. ASPECTES A FAVOR:.....</b>	<b>94</b>
<b>9.3. ASPECTES EN CONTRA:.....</b>	<b>94</b>
<b>9.4. APLICACIÓ DE LA TEORIA DE LES LIMITACIONS A LA LÍNIA DE SERRES DE MÀ .....</b>	<b>95</b>
1) IDENTIFICACIÓ DEL COLL D'AMPOLLA: .....	95
2) DECISIÓ SOBRE COM EXPLOTAR EL COLL D'AMPOLLA:.....	95
3) SUBORDINACIÓ DE TOT A LA DECISIÓ ANTERIOR:.....	97
4) SUPERACIÓ DE LA RESTRICCIÓ DEL SISTEMA ELEVANT LA SEVA CAPACITAT.....	99
5) SI LA LIMITACIÓ S'HA SUPERAT, TORNAR A REALITZAR EL CICLE DES DEL PAS NÚMERO 1) .....	99
<b>10. IMPACTE AMBIENTAL DEL PROJECTE.....</b>	<b>101</b>
<b>11. PRESSUPOST DEL PROJECTE .....</b>	<b>104</b>
<b>12. CONCLUSIONS .....</b>	<b>105</b>
<b>12.1. CONCLUSIONS SOBRE LA LÍNIA DE CORONES.....</b>	<b>105</b>
<b>12.2. CONCLUSIONS SOBRE LA LÍNIA DE SERRES DE MÀ.....</b>	<b>108</b>
<b>13. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>110</b>
<b>14. ÍNDEX DE FIGURES .....</b>	<b>111</b>
<b>15. ÍNDEX DE TAULES.....</b>	<b>112</b>



## 2. INTRODUCCIÓ

El present Projecte Final de Carrera (PFC en endavant) sorgeix de l'estudi del cas real d'una fàbrica d'eines de tall. No es tracta estrictament d'un PFC emmarcat dins d'un conveni "Universitat – Empresa" sinó d'un estudi que l'alumne realitza sobre les línies productives de l'empresa i recull en forma de la present memòria.

El PFC tracta sobre l'optimització de la producció d'una planta industrial, situada a la província de Barcelona, dedicada a la producció d'eines de tall: serres de cinta, serres de calar, serres de sable i també corones de tall. La gran majoria estan compostes d'acer i estan destinades tant pel consum industrial com pel gran comerç.

En el decurs del projecte s'analitza en profunditat la situació de partida de la fàbrica per a després definir i desenvolupar accions de millora de la producció que han de conduir a la fàbrica a un nou estat productiu més eficient. La metodologia que es planteja per a gestionar la millora en el sistema productiu és la Teoria de les Limitacions, també coneguda com a TOC pel seu nom en anglès Theory Of Constraints. Es tracta d'una eina de gestió de la millora continua i de motor de canvi que vehicularà la resta de les mesures adoptades.

S'ha fet servir la metodologia anomenada Visual Stream Mapping (VSM) per a realitzar una modelització de l'estat inicial de la planta i de les possibles solucions a implantar. Es tracta d'una eina de gestió Lean que permet la representació gràfica de la cadena de valor dels processos. Del seu estudi s'extraurà la informació necessària per a concloure quines són les mesures més adients a implantar a la fàbrica.

S'ha adoptat una altra eina pròpia de la gestió Lean per a la gestió d'inventaris en la planta: la metodologia Kanban. S'adaptarà a la gestió de la producció TOC per tal de controlar de manera més eficient els inventaris de producte en curs a la fàbrica.

En una primera part de la memòria es realitza la descripció de l'empresa, a on s'exposen tant els aspectes organitzacionals com una descripció dels diferents productes fabricats i llurs processos productius.

Una segona part està dedicada a realitzar una descripció teòrica de les metodologies de treball usades en el projecte, de manera que es troben les definicions corresponents a la Teoria de les Limitacions, el Visual Stream Mapping i la gestió Kanban.

A la tercera part del projecte es desenvolupa la implementació pràctica sobre les línies de corones i de serra de mà, aplicant els conceptes teòrics descrits en la part anterior (TOC, VSM i Kanban). Es presenten tres opcions diferents per a la millora de la línia de corones i una opció per a la línia de serra de mà. S'analitzen cadascuna de les possibles solucions per a tenir elements de judici suficients i poder decidir quina solució encaixa millor amb les necessitats de l'empresa.

Finalment, s'inclou un apartat amb els resultats obtinguts en els models plantejats i amb les conclusions que se n'extreuen.

Per motius de confidencialitat, el nom real de l'empresa objecte de l'estudi no serà emprat i serà substituït pel nom fictici de "*Corones i Serres C&S SL*". Per idèntics motius no s'ha tingut accés a dades financeres, comercials i a d'altra informació sensible que s'ha considerat confidencial. Malgrat això, les variables usades i les aproximacions realitzades de les xifres i dades en el present PFC s'han de considerar proporcionalment adequades per a extraure conclusions que puguin ser considerades com a vàlides.

### 3. OBJECTIUS

L'objectiu que es persegueix amb el present PFC és la proposta d'accions concretes per a la millora dels processos de les línies de producció de corones i de serra de mà de l'empresa "*Corones i Serres C&S SL*".

S'aconseguirà a través de la implantació d'eines metodològiques, com són la Teoria de les Limitacions, el Value Stream Mapping i el Kanban, les quals es podran integrar dins de la dinàmica de l'empresa per afrontar la seva activitat d'una manera més eficient.

Aquesta eficiència ha de tenir impacte en l'augment de la capacitat productiva i en una disminució dels malbarataments. És a dir, els resultats aconseguits tindran un impacte econòmic positiu.

Sota del paraigües d'un terme tan genèric com és "l'optimització del sistema productiu" es contemplaran els següents conceptes més concrets:

- Establiment d'un sistema de gestió de la producció adequat als processos de planta. C&S SL és una fàbrica formada a partir de la unió de petits tallers metal·lúrgics que ha obtingut uns bons resultats i que ha arribat a la conclusió de donar un pas més en l'evolució de la gestió de la producció.
- Augment de la capacitat productiva de les línies.
- Increment de la flexibilitat de la producció.
- Reducció del temps d'entrega, o Lead Time, de les operacions.
- Reducció de l'inventari de producte en curs a dins de planta.
- Reducció del costos de fabricació.
- Racionalització de l'ús dels recursos.

#### **4. MOTIVACIONS PERSONALS**

S'ha considerat escaient la inclusió d'aquest breu apartat dins del PFC per donar cabuda a les motivacions de l'autor a l'hora d'abordar un estudi com el que es presenta.

Després d'uns anys seguint la formació específica en Enginyeria dins la branca de l'Electrònica Industrial, resulta interessant la idea de tractar de primera mà, ja dins del món professional, un projecte centrat en l'Enginyeria de processos industrials.

La vinculació entre els dos mons, el de l'Electrònica i el dels Processos, resulta evident donat que es desenvolupen en un entorn industrial. No obstant, ambdós treballen en esferes força diferents. El fet de complementar la formació acadèmica dins de l'àmbit de l'enginyeria de processos resulta una excel·lent oportunitat per a posar en pràctica, completar i ampliar els coneixements adquirits durant els estudis.

## 5. ANTECEDENTS: ESCENARI INICIAL

### 5.1. L'EMPRESA

L'empresa objecte de l'estudi es dedica a la manipulació i la transformació de l'acer en fleix per a la fabricació i la distribució de serres i corones per al tall. Els clients a qui dirigeix la seva activitat són tant les cadenes de distribució de màquines eina per al gran públic, com les grans indústries que compren directament a fàbrica els recanvis dels útils de tall.

L'origen de C&S, S.L. ens fa remuntar més de trenta anys d'història, quan en Jordi va crear un petit taller en base a la gran experiència que havia adquirit després de molts anys de treball a Alemanya. El taller va anar creixent ràpidament fins que a finals dels anys vuitanta va arrencar la fàbrica actual amb l'ajuda del seu soci Francesc.

Actualment, C&S, S.L. és una Societat Limitada amb seu a Barcelona que, des de fa uns vuit anys, es troba sota el paraigua d'un grup empresarial de capital alemany. La pertinença a aquest grup empresarial permet a l'organització un escenari estratègic comercial avantatjós, ja que complementen gamma de productes i comparteixen xarxes comercials. Així doncs, no només li proporciona estabilitat i competitivitat a dins de les fronteres, sinó que també li obre una magnífica via de sortida a països europeus, al nord de l'Àfrica i a l'Orient Proper.

C&S, S.L. està integrada per 23 treballadors, dels quals 17 són mà d'obra directa. L'estructura directiva està composta per tres persones. Podem veure l'estructura organitzativa al quadre de representació de l'organigrama.

La nau actual no arriba als 800 m<sup>2</sup> incloent les zones de magatzem. Les oficines no superen els 100 m<sup>2</sup>. Està situada a uns 40 quilòmetres al sud-oest de Barcelona, dins d'un polígon amb bones comunicacions.

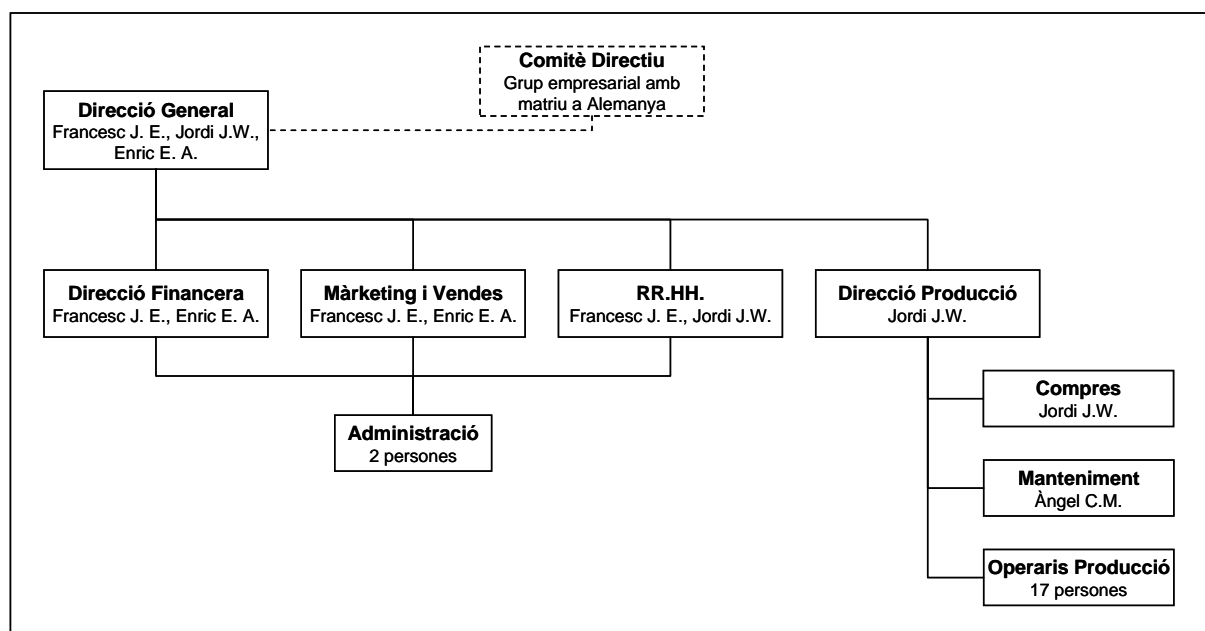
### 5.2. ORGANIGRAMA

La direcció està formada per tres socis que es reparteixen les competències: en Francesc, qui desenvolupa les tasques de direcció de planta i les pròpies de Gestió de personal, de Màrqueting i de Vendes; en Jordi, que és el Cap de Producció i s'encarrega també dels proveïdors; i l'Ernest, que s'ocupa de la Gestió Financera.

D'una banda, el gruix del personal de planta està compost per operaris que porten més de 20 anys a la casa. Per l'altra banda, algun dels llocs amb més rotació se sol ocupar amb personal eventual, en funció de les baixes i /o demanda de producció.

El manteniment de les instal·lacions es confia a la mateixa persona d'ençà més de 10 anys.

De les tasques administratives se n'ocupen dues persones, també amb molta experiència a la casa.

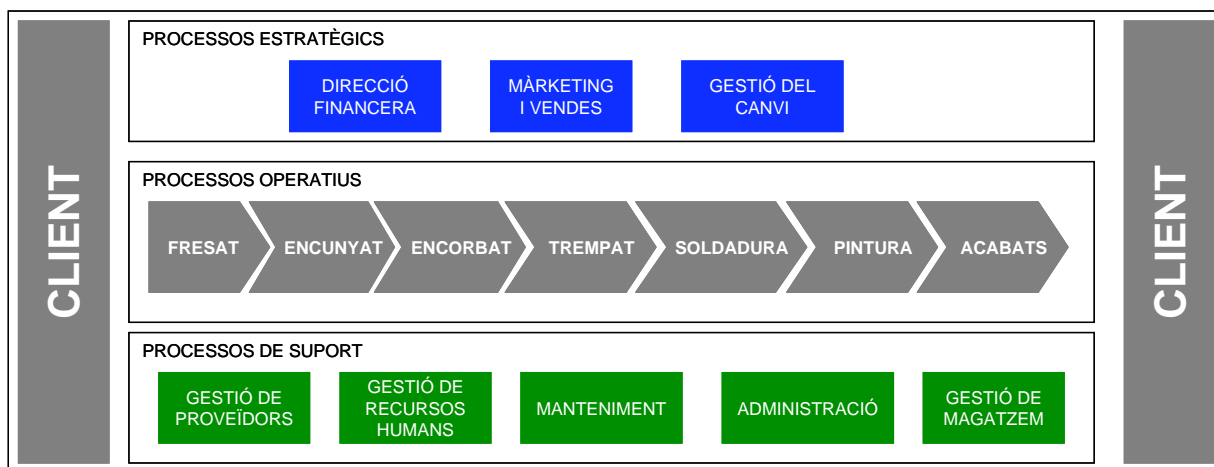


IMATGE 1, ORGANIGRAMA DE L'EMPRESA

### 5.3. DEFINICIÓ DELS PROCESSOS

L'estudi del Mapa de processos de l'empresa permet una primera aproximació per a identificar les activitats que realitza i classificar-les segons llur naturalesa:

MAPA DE PROCESSOS DE L'EMPRESA.



IMATGE 2, MAPA DE PROCESSOS DE C&S, SL

#### 5.3.1. PROCESSOS OPERATIUS: PRODUCCIÓ

##### 5.3.1.1. PLANIFICACIÓ DE LA PRODUCCIÓ

Les ordres de treball s'elaboren en base a comandes de clients, no es produeix contra estoc final.

Les ordres de treball es gestionen a l'oficina a través d'un ERP bastant primitiu. La interfície del programari recorda al MS DOS i la capacitat de gestió és molt limitada. L'actualització de la informació de tots els processos es realitza manualment de manera centralitzada a l'oficina de producció. L'ERP proporciona informació sobre:

- descripció de les comandes, referència a fabricar, quantitat, client, etc.
- quantitat de matèria primera a magatzem,
- quantitat de producte entre fases,
- producte acabat,
- dades de facturació i inventari.

Les ordres de treball baixen a planta en format paper. No existeix cap PC de gestió a planta.

L'ERP no té cap unitat de planificació de la producció. El Cap de Producció és qui s'encarrega de baixar les ordres de treball a planta i d'establir l'ordre de producció. Ho fa de viva veu amb el Cap de Secció i aquest custodia aquests papers fins que satisfà l'ordre de treball.

##### 5.3.1.2. LÍNIES PRODUCTIVES

Bàsicament, la producció està dividida en 4 línies que corresponen a les 4 famílies de productes. No obstant, dins de cada família no tots els tipus de serres descriuen els mateix procés productiu, de manera que ens trobem amb variants dintre de cada procés segons el material de la cinta. La següent taula mostra la relació existent entre els diferents productes i els respectius processos productius.

	Família	Nom descriptiu i/o tipus de metall	Processos
1	Serra de mà	Acer ràpid	1.1
		Carboni (producció pròpia)	1.2
		Carboni (producte semielaborat)	1.3
		Acer Súper Ràpid	1.4
		Bimetall	
		Chrom	1.5

	Família	Nom descriptiu i/o tipus de metall	Processos
		Wolfram Grit	
2	Serra de cinta	Acer ràpid	(només a partir del procés de mesura i tall)
		Carboni (producció pròpia)	Procés complet
3	Serra de corona	Bimetall	Procés complet
		Tungsté	(només la secció d'acabats)
4	Serra de sable i Serra de calar *	Serra de sable	(només la secció d'acabats)
		Serra de calar	(només la secció d'acabats)

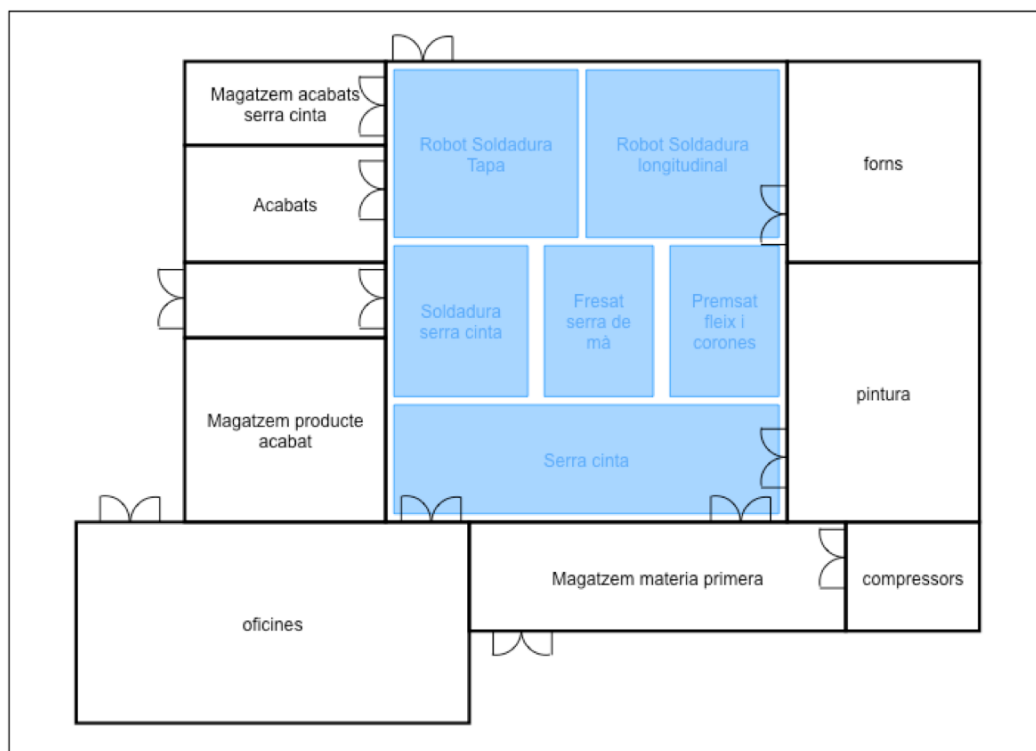
TAULA 1, RELACIÓ DE PRODUCTES I ELS SEUS PROCESSOS

No totes les línies de producte estan dins de l'abast del PFC. Tan sols s'analitzaran les línies productives de corones i de serres de mà, què són les que tenen un impacte econòmic més alt i, a la vegada concentren el gruix de l'activitat.

Cadascuna de les línies actua, en principi, com a una línia independent. De fet, totes les línies actuen com a tallers independents dintre de la fàbrica produint cadascuna de les famílies de producte.

Tot i així, hi ha algunes relacions de client-proveïdor intern entre alguns dels processos. La secció de pintura i la d'acabats, per exemple, gestionen els recursos per tal de satisfer la tant a la línia de Serra de Mà, com a la de Corones i a la de Serres de Sable.

Aquesta servitud i la distribució de la maquinària a planta a la planta (veure el layout) obliga sovint a que el material que s'està processant realitzi recorreguts llargs i ineficients.



IMATGE 3, LAYOUT O PLANTA DE LA FÀBRICA

No és habitual la mobilitat del personal d'una línia a una altra. Existeix molt poca rotació i polivalència entre les línies. Això provoca una evident fragilitat a la producció davant les eventuais baixes. El personal temporal o menys qualificat, és el que més rota entre les línies, segons demanda de producció, efectuant les tasques menys especialitzades.

### 5.3.1.3. EXTERNALITZACIONS

Existeixen dues fases de la producció actualment externalitzades:

- Línia de serra de mà:
  - Fase d'acabats: les operacions d'introducció en el blister i encaixat es realitza fora de les dependències de l'empresa per a un cert volum de la producció de serres de mà (no el 100%). Una empresa externa s'encarrega de recollir les serres i retornar-les llestes per l'expedició al client.
- Línia de corones:
  - Fase de tremp de l'acer: dos cops per setmana s'envia un lot de corones al proveïdor del trempat de l'acer. El 100% del trempat es realitza en aquest proveïdor de proximitat.

### 5.3.2. PROCESSOS ESTRATÈGICS: GESTIÓ DE LA QUALITAT

L'estat inicial de l'empresa es sintetitza en els següents punts:

- No hi ha implantat un Sistema de Gestió de la Qualitat (SGQ). Els processos que s'hi realitzen no estan sistemàticament procedimentats.
- No existeixen *pautes de treball o fitxes tècniques* de producte/procés. Trobem alguna documentació de suport a les activitats dels processos de l'empresa, però només cobreix algun punt concret i no es troba sistematitzat.
- La, L'amplia experiència i coneixement que molts dels operaris tenen sobre el producte i sobre el procés conforma una gran quantitat de coneixement tàcit, no obstant, això contrasta amb el poc coneixement que trobem pautat i documentat.
- No existeixen *pautes de control* de la producció. No estan definides. L'operari és qui garanteix la qualitat de les peces que produeix. Existeixen dos únics controls de qualitat descrits com a tal:
- A la línia de Serra de cinta: al laboratori, mitjançant un duròmetre, es realitzen assaigs de penetració d'una mostra de cada rotlle que es produeix. L'objectiu és verificar que el trempat ha treballat bé i que el rotlle és apte.
- A la línia de Serra de corona: en ambdues màquines de soldar, l'operari realitza una comprovació visual del cordó de soldadura.
- No hi ha un Sistema de Control de No Conformitats. Les desviacions, tant de producte com de procés, són tractades i solucionades de forma no documentada. D'aquesta manera, és més difícil el seu estudi sistèmic per tal de procurar un cicle de millora continua.
- No existeix cap procediment de gestió i control de l'edició, revisió o manteniment de la documentació generada a la planta.

### 5.4. MERCAT

Es tracta d'una Pyme amb un volum de facturació actual de 2M d'€ anuals. Amb aquesta xifra, C&S, S.L. se situa com el segon productor de serres dins del territori nacional.

Dintre de l'escenari europeu té un posicionament prou bo gràcies a la qualitat de les serres de cinta, les serres de corona i, sobretot les serres de mà.

La principal competència arriba d'Àsia, amb la que difícilment es pot competir en preus, però sí en servei.

A la taula següent es representa una relació entre les diferents línies de producte i el volum de facturació i producció que representen.

	Família	Percentatge facturació	Producció Anual Aproximada
1	Serra de mà	35%	1,5M unitats
2	Serra de cinta	17%	100M metres
3	Serra de corona	40%	336K unitats
4	Serra de sable i Serra de calar	8%	100K unitats

TAULA 2, RELACIÓ DE FACTURACIÓ I PRODUCCIÓ PER FAMÍLIES

No totes les línies de producte estan dins de l'abast del PFC. Tan sols s'analitzaran les línies productives amb un impacte econòmic més alt que, a la vegada representen el gruix de l'activitat. Aquestes són les línies de corones i de serres de mà, que sumen un 75% de la facturació de C&S, S.L.

## 5.5. DESCRIPCIÓ DELS PRODUCTES FABRICATS

En el present apartat es descriuen els productes de cada família amb més profunditat.

### 5.5.1. SERRA DE MÀ

Fulla de serra de mà de 30 cm de llarg i 1 cm d'ample. Està concebuda per a adaptar-se a un arc de serra universal estàndard. L'arc de serra agafa la fulla pels forats que trobem als seus dos extrems.

Les característiques de les serres de mà venen descrites per:

- Tipus de material: existeixen 7 tipus de compost de material que donen lloc a 14 referències de serres diferents. El tipus de material amb el que estigui fabricat la serra determinarà les seves condicions mecàniques i, en conseqüència, per a quin tipus de material està dirigit el seu ús final (tall de fusta, de metall, de plàstic, etc.).
- N° de dents per polsada: el n° de dents determinarà també quin material es pot tallar amb elles.
- Color i acabat: són aspectes merament estètics que tenen relació amb el client i amb la seva gama de productes.

En base a aquestes característiques descrites, les serres de mà es poden representar segons la taula a continuació.

	Nom descriptiu	Tipus	Producció mensual objectiu (unitats)	Procés productiu
1	Acer ràpid	HRF i BRF, 12,7mm	5.000 (250 al dia)	Procés complet, tipus 1.1: fresat i trempat separats.
2	Carboni (producció pròpia)	HEF i BHEF	75.000 (3.750 al dia)	Procés complet, tipus 1.2: fresat i trempat junts, en continu.
3	Carboni (producte semielaborat)	HEFDC	32.500 (1.625 al dia)	Procés reduït, tipus 1.3: es rep la serra semielaborada i només es pinta a pistola i es realitzen els acabats.
4	Acer Súper Ràpid	HSR i BSR		
5	Bimetall	HM2 i BM2		
6	Chrom	HCF, HCFDC (i BCEF)	15.000 (750 al dia)	Procés reduït, tipus 1.4: es rep la serra semielaborada i només es pinta per immersió i es realitzen els acabats.
7	Wolfram Grit	HCW i BCW		

TAULA 3, RELACIÓ DE TIPUS DE SERRES DE MÀ, PROCÉS I OBJECTIU MENSUAL

A la planta de C&S, doncs, es realitza tot el procés productiu sencer només per als dos primers tipus de serra de la taula.

Existeixen 4 variants del procés productiu segons el material de la serra de mà:

#### 5.5.1.1. SERRA DE MÀ D'ACER RÀPID TIPUS HRF I BRF:

A la taula següent es descriu breument el flux productiu i els recursos que estan involucrats en la fabricació de les serres de mà d'acer ràpid:

	Procés	Recurs utilitzat	Descripció
1	Recepció de matèries primeres	Transpalet elevador	Es rep el següent material: Palets de bobines de fleix d'Acer de 12 mm. Secció acabats: pintures i estotjos de plàstic 10 unitats per a empaquetatge final.
2	Estampació	2 premses.	Les bobines es transformen en seccions rectes de 30cms de llargada. També es practiquen els dos forats dels extrems de la fulla, que serviran per a que l'usuari final pugui fixar la fulla a l'arc de la serra.
3	Fresat	2 fresadores.	Les fulles s'apilen en blocs de 250 unitats a sobre de la fresadora. El perfil que queda mirant amunt és sobre el que s'esmolaran els dents de serra. Els blocs de fulles es fixen a la fresadora i la matriu realitza repetides passades per sobre les fulles. Progressivament les dents de la serra es van formant fins que s'arriba a l'acabat desitjat.



	Procés	Recurs utilitzat	Descripció
4	Trempat	Forn.	El trempat arriba a una temperatura superior de 600°C i fa que l'acer ràpid assoleixi les propietats adequades de duresa. El refredament controlat, o revingut, garantirà les propietats de flexibilitat de la fulla.
5	Pintura	Cadena de Pintura amb forn d'assecat.	Cadena de pintura: Es tracta d'un circuit que és recorregut per una cadena transportadora aèria situada a 1,7 metres de terra. Distribuïts per tota la cadena hi ha uns ganxos situats amb una separació de 5 cm entre si. A l'inici del circuit, l'operari penja les fulles manualment dels ganxos. Tot seguit, al circuit hi ha dues pistoles que pinten la fulla, una pistola per cada banda. Les fulles entren aleshores en un túnel calefactat d'on sortiran ja assecades. El recorregut per dins del túnel és d'anada i tornada, de manera que el temps d'assecat és el doble del que, a priori, el forn permetria. Al final del recorregut, l'operari recupera manualment les fulles suspeses de la cadena. Abans d'iniciar de nou el circuit, la cadena buida de fulles passa per un cremador que elimina l'excés de pintura que s'ha quedat al ganxo. Aleshores, el cicle torna a començar.
6	Tampografia	Màquina de tampografia.	Es tracta d'una cinta transportadora de 5 metres. A l'extrem inicial de la cinta, l'operari col·loca manualment les serres, d'una en una, sobre la cinta. Una guia a la cinta garanteix que totes les fulles es mouran paral·leles i equidistants. El tampó de pintura està sincronitzat amb aquesta guia, de manera que quan la fulla passa sota el tampó, aquest grava la marca sobre la fulla. A continuació, la cinta corre sota uns panells calefactats que assecaran la pintura de les fulles. Finalment, les fulles cauen a un contenidor situat al final de la cinta.
7	Empaquetat	Procés manual en part externalitzat.	S'omplen manualment els estotjos de 10 unitats amb les fulles provinents de l'estampat. Aquests estotjos ompliran caixes de cartró de 50 estotjos. El pes és un factor limitant en la grandària dels paquets finals, ja que han de ser manipulables amb facilitat.
8	Expedició producte acabat	Transpalet elevador	El transport està subcontractat a una empresa externa.

TAULA 4, FLUX PRODUCTIU SERRESSES DE MÀ TIPUS 1.1

#### 5.5.1.2. SERRA DE MÀ DE CARBONI TIPUS HEF O BHEF.

A la taula següent es descriu breument el flux productiu i els recursos que estan involucrats en la fabricació de les serres de mà de carboni de producció pròpia:

	Procés	Recurs utilitzat	Descripció
1	Recepció matèries primeres	Transpalet elevador	Es rep el següent material: Palets de bobines de fleix d'Acer de 12 mm. Secció acabats: pintures i estotjos de plàstic 10 unitats per a empaquetatge final.
2	Fresat més Trempat	2 fresadores i trempadores Hilverkus.	Una fresadora processa fins a 4 bobines de fleix d'acer al carboni a la vegada. Es compon de 4 zones: desbobinat, fresat, trempat i bobinat. A un extrem de la màquina el fleix es desbobina i es fa passar per una guia que l'encara a la fresadora. La zona de fresat té uns 50 cm, a on la fresa va donant progressivament la forma a la dent de la serra. Seguidament, el fleix passa per la zona de trempat, d'uns 50 cm també, a on uns cremadors porten la fulla a elevades temperatures. El refredament posterior és natural, tal i com el fleix es va bobinant de nou
3	Estampació	2 premses.	Les bobines es transformen en seccions rectes de 30cms de llargada. També es practiquen els dos forats dels extrems de la fulla, que serviran per a que l'usuari final pugui fixar la fulla a l'arc de la serra.
4	Pintura	Cadena de Pintura amb forn d'assecat.	Cadena de pintura descrita en el procés del quadre anterior.
5	Tampografia	Màquina de tampografia.	Mateixa cinta transportadora descrita en el procés del primer quadre.

	Procés	Recurs utilitzat	Descripció
6	Acabats	Procés manual en part externalitzat.	Procés idèntic al quadre anterior.
7	Expedició de producte acabat	Transpalet elevador.	El transport està subcontractat a una empresa externa.

TAULA 5, FLUX PRODUCTIU SERRES DE MÀ TIPUS 1.2.

#### 5.5.1.3. SERRA DE MÀ DE CARBONI, D'ACER SÚPER RÀPID I DE BIMETALL.

A la taula següent es descriu breument el flux productiu i els recursos que estan involucrats en la fabricació de les serres de mà de carboni (tipus HEFDC), d'acer súper ràpid (HSR i BSR) i de bimetall (HM2 i BM2) que ja arriben conformades:

	Procés	Recurs utilitzat	Descripció
1	Recepció matèries primeres	Transpalet elevador	Es rep el següent material: Palets de caixes de fulles de serra ja conformades, pendants només dels processos de pintura i acabats. Secció acabats: pintures i estotjos de plàstic 10 unitats per a empaquetatge final.
2	Pintura	Cadena de Pintura amb forn d'assecat.	Cadena de pintura descrita en el procés del quadre anterior.
3	Tampografia	Màquina de tampografia.	Mateixa cinta transportadora descrita en el procés del primer quadre.
4	Empaquetat	Procés manual en part externalitzat.	Procés idèntic als quadres anteriors.
5	Expedició de producte acabat	Magatzem d'expedicions.	El transport està subcontractat a una empresa externa.

TAULA 6, FLUX PRODUCTIU SERRES DE MÀ TIPUS 1.3.

#### 5.5.1.4. SERRA DE MÀ DE CROM (HCF, HCFDC I BCEF) I DE WOLFRAMI (HCW I BCW).

A la taula següent es descriu breument el flux productiu i els recursos que estan involucrats en la fabricació de les serres de mà de crom i de wolframi que ja arriba conformada:

	Procés	Recurs utilitzat	Descripció
1	Recepció de matèries primeres	Magatzem de matèries primeres	Es rep el següent material: Palets de caixes de fulles de serra ja conformades, pendants només dels processos de pintura i acabats. Secció acabats: pintures i estotjos de plàstic 10 unitats per a empaquetatge final.
2	Pintura per immersió	Pintura per immersió.	S'empra un contenidor de pintura de dimensions 1 m x 0.5 m x 0.5 m, a la tapa del qual hi ha un conjunt de ganxos. Les serres es col·loquen manualment una per una als ganxos. Mitjançant un polispast es baixa la tapa i es submergeixen les serres a la pintura. El procés d'impregnació és ràpid però l'assecat és a l'aire de manera que dura més de 2 hores.
3	Tampografia	Màquina de tampografia.	Mateixa cinta transportadora descrita en el procés del primer quadre.
4	Acabats	Procés manual.	Procés idèntic als quadres anteriors.

	Procés	Recurs utilitzat	Descripció
5	Expedició de producte acabat	Magatzem d'expedicions.	El transport està subcontractat a una empresa externa.

TAULA 7, FLUS PRODUCTIU SERRES DE MÀ TIPUS 1.4.

### 5.5.3. SERRA DE CINTA.

La serra de cinta es tracta d'un fleix, els extrems del qual es troben soldats l'un amb l'altre. Un dels perfils conté una fulla dentada, de manera que es crea una serra sense fi. Està concebut per a màquines de tall industrials. Segons el disseny de la màquina la longitud de la serra pot variar. Dos volants subjecten la serra de cinta i la fan moure en el sentit del tall. Entre els eixos dels dos volants se situa el punt de tall, per on es farà passar el material a processar per la màquina.



IMATGE 5, IMATGE DE MÀQUINA DE TALL AMB SERRA CINTA

Les característiques de la Serra de Cinta estan descrites pel:

- tipus de material: la composició del material de la serra determinarà les seves condicions mecàniques i, en conseqüència, per a quin tipus de material està dirigit el seu ús final (tall de fusta, de metall, de plàstic, etc.).
- nº de dents per polsada: el nº de dents determinarà també quin material es pot tallar amb elles.

En base a aquestes característiques descrites, les serres de cinta es poden representar segons la taula a continuació:

	Nom descriptiu	Tipus	Procés productiu
1	Acer ràpid	-	Les bobines arriben amb la serra ja feta a la fulla. Només es fan les darreres fases del procés productiu. El proveïdor d'aquestes bobines pertany al mateix grup empresarial de C&S, S.L..
2	Carboni (producció pròpia)	4, 6, 8, 10, 12, 16 i 20 mm	El procés productiu de la serra es fa sencer a la fàbrica de C&S, S.L. a partir de les bobines del fleix.

TAULA 8, RELACIÓ TIPUS DE SERRA CINTA

#### 5.5.3.1. SERRA DE CINTA DE CARBONI.

A la taula següent es descriu breument el flux productiu i els recursos que estan involucrats en la fabricació de la serra cinta de carboni:

	Procés	Recurs utilitzat	Descripció
1	Recepció de matèries primeres	Magatzem de matèries primeres	Rebem el següent material: Palets de bobines de fleix d'Acer de 12 mm. Secció acabats: pintures i estotjos de plàstic 10 unitats per a empaquetatge final.

2	Fresat i trempat	2 fresadores i trempadores Hilverkus.	Una fresadora processa fins a 4 bobines de fleix d'acer al carboni a la vegada. Es compon de 4 zones: desbobinat, fresat, trempat i bobinat. A un extrem de la màquina el fleix es desbobina i es fa passar per una guia que l'encara a la fresadora. La zona de fresat té uns 50 cm, a on la fresa va donant progressivament la forma a la dent de la serra. Seguidament, el fleix passa per la zona de trempat, d'uns 50 cm també, a on uns cremadors porten la fulla a elevades temperatures. El refredament posterior és natural, tal i com el fleix es va bobinant de nou.
3	Mesura i tall	Bobina amb metratge	Es tracta d'una màquina que bobina el fleix a la vegada que mesura exactament els metres de serra que està bobinant. L'operari talla a on convé i precinta el resultant per a que no es desbobini.
4	Empaquetat	Procés manual	L'operari encaixa la bobina de la serra cinta. La caixa és de plàstic dur i el seu color varia segons la mesura i/o el client a qui va dirigida.
5	Expedició	Magatzem d'expedicions.	El transport està subcontractat a una empresa externa.

TAULA 9, FLUS PRODUCTIU DE SERRA CINTA DE CARBONI

#### 5.5.4. SERRA DE CORONA:

Es tracta d'un cilindre metàl·lic de 40 mm de longitud i de base circular. Existeix tota una gama de diàmetres que satisfan els diversos usos pels que està destinada l'eina: dels 14 mm als 210 mm. Una de les bases del cilindre conté la serra de tall (orientada en el mateix sentit de l'eix del cilindre). Sobre l'altra base del cilindre va soldada una tapa rodona del mateix material del cos i de la mateixa mida. Està concebuda per a ser adaptada a qualsevol màquina-eina del tipus trepant elèctric i per a fer forats sobre materials no més gruixuts de 40 mm (longitud del cilindre de la corona).

Exemple: corona de Bimetall a l'esquerra i de Tungstè a la dreta.



IMATGE 6, IMATGE DE CORONA DE TALL

Les característiques de la Serra de Corona venen descrites per:

- Tipus de material: La composició del material amb el que estigui fabricada la corona determinarà les seves propietats mecàniques i, en conseqüència, per a quin tipus de material està dirigit el seu ús final (tall de fusta, de metall, de plàstic, etc.). Segons la composició de la corona, a C&S, S.L. distingim dues classes:
  - Bimetall: Encara que a l'ull humà no es veu el salt entre un material i l'altre, les dents són d'acer ràpid (HSS) i el cos és d'acer especial. Els usos d'aquest tipus de corona abasta diferents tipus de material (fusta, metall, alumini, etc.)
  - Tungstè: el cos d'acer especial està culminat per les dents de carbur de tungstè. Aquest compost millora la resistència tèrmica. És idoni per tallar materials de construcció altament abrasius (marbre, formigó, fibra de vidre, ceràmica, etc.).
- Nº de dents per polsada: característica important per a les corones de Bimetall, no tant per a les de Tungstè, el nº de dents determinarà també quin material es pot tallar amb elles. A C&S, S.L. podem distingir dos tipus:
  - Variable, entre 4 i 6 dents per polsada. La disposició variable de les dents redueix les vibracions i proporciona un tall més suau.
  - Fixe 10 dents per polsada. No té les característiques de l'anterior.

- Adaptador a la màquina-eina: centrat a la tapa de la corona hi ha practicat un forat a on s'acolla un brot o adaptador. Aquests adaptadors no es fabriquen a C&S, S.L., es tracta d'un producte del catàleg però només es distribueix per tal de donar un servei més ampli al client.
- Color i acabat: són aspectes merament estètics que tenen relació amb el client i amb la seva gama de productes.

Segons aquestes característiques descrites, les serres de corona es poden representar segons la taula següent:

	Nom descriptiu	Tipus	Procés productiu
1	Bimetall	Diàmetres de 14 mm a 210 mm. Es fabriquen tant de 4/6 com de 10 dents per polsada.	El procés productiu es fa sencer a la fàbrica de C&S, S.L..
2	Tungsté	Diàmetres de 14 mm a 210 mm.	Només es realitzen a la fàbrica els processos propis de la secció d'acabats.

TAULA 10, RELACIÓ DE TIPUS DE CORONES

A la taula següent es descriu breument el flux productiu i els recursos que estan involucrats en la fabricació de les corones:

	Procés	Recurs utilitzat	Descripció
1	Recepció de matèries primeres.	Transpalet elevador.	Rebem el següent material: Palets de bobines de fleix d'acer de 40 mm amb la serra ja feta. Palets amb caixes de cartró plenes amb les Tapes d'acer ja mecanitzades i preparades per a ser soldades a les Corones dels diversos diàmetres. Pintura pels acabats de les peces. Caixes de cartró per l'empaquetat final.
2	Estampació.	2 premses.	Les bobines es transformen en seccions rectes. La llargada de la peça depèn del diàmetre de la corona. També es practiquen els dos forats a la fulla (els diàmetres petits no en tenen).
3	Corbar.	2 premses per a corbar les diferents mides.	Les dues premses poden corbar diferents mides.
4	Soldadura del cos.	1 màquina de soldar longitudinal.	Soldadura sense aportació de material. Una part de la producció es fa a l'Àsia.
5	Trempat.	Forn de trempat i revingut. Procés extern.	El procés de trempat i revingut confereix les característiques físiques finals del metall. El proveïdor extern disposa de capacitat suficient com per absorbir tot el material que C&S, S.L. sigui capaç de servir.
6	Soldadura de la tapa.	Robot de soldadura circular.	El temps de cicle depèn del diàmetre de la corona. A més diàmetre més temps de cicle.
7	Pintura de corona.	Cadena de Pintura amb forn d'assecat.	La cadena de pintura té un número de posicions determinat. Quant més grans són les corones, menys hi caben. Es fan dues passades per la pistola de pintura. La planificació de la producció de Pintura depèn directament de les comandes que estan a cartera, donat que el color depèn del client.
8	Tampó de la marca.	Màquina de tampografia.	Mitjançant tampografia s'estampa la marca del client a la peça.
9	Encaixat o packing.	Procés manual.	Un cop s'asseca la corona ja es pot encaixar i deixar llesta per a la seva expedició.
10	Expedició producte manual.	Transpalet elevador al magatzem d'expedicions.	El transport està subcontractat a una empresa externa.

#### **5.5.5. SERRA DE CALAR I SERRA DE SABLE:**

Sota aquests noms es comprenen les fulles de serra que estan dissenyades per a ser muntades sobre les màquines eina elèctriques homònimes estàndard existents al mercat. Un dels extrems de la fulla queda lliure mentre que l'altre és subjectat per la màquina. Segons això:

- Serra de calar: la fulla de la serra es descriu un moviment lineal amunt i avall mentre la serra és desplaçada per la superfície de la peça que es talla.
- Serra de Sable: essencialment, es tracta d'una serra de calar amb la característica de que la fulla és sensiblement més gran.

Segons la naturalesa del material a tallar, les serres de calar estan fetes de diferents materials i presenten diferents característiques en la densitat de dents per polsada.

A les instal·lacions de C&S, S.L. a Catalunya tan sols es fan les tasques de distribució d'aquest tipus de producte, com a un servei més integrat dins del grup empresarial al que pertany.

## 6. MARC TEÒRIC: EINES METODOLÒGIQUES

El present apartat té com a propòsit explicar breument la base teòrica que sostenen les eines metodològiques que han estat emprades en el PFC.

La Teoria de les Limitacions, el Value Stream Mapping i el Kanban són eines reconegudes en l'àmbit industrial que han demostrat ser versàtils i fàcilment adaptables a les característiques d'organitzacions de naturalesa molts diversa.

En base a la descripció que es proposa a continuació, seran posades en pràctica a posteriori dins les línies de corones i de serres de mà per tal d'aconseguir els objectius fixats.

### 6.1. TEORIA DE LES LIMITACIONS: FONAMENTS TEÒRICS

#### 6.1.1. HISTÒRIA

La Teoria de les Limitacions, o TOC (de l'original en anglès Theory of Constraints), va ser formulada a la segona meitat del segle XX pel doctor en física d'origen israelià anomenat Eliyahu Goldratt (1947-2011). En Goldratt va difondre la seva teoria en forma d'història novel·lada titulada "La Meta", que va veure la llum al 1984. Poc després, al 1988, altre llibre seu titulat "La Carrera" complementaria les teories formulades al primer.

En quant a la novel·la, l'argument de "La Meta" situa l'espectador dins la història d'un jove director d'una planta productiva, l'Àlex Rogo, a qui se li ha plantejat un ultimàtum de tres mesos per tal de salvar la crítica situació per la que travessa la planta. En aquestes que el jove director es retroba amb en Jonah, un antic professor seu de física (personatge que representa al mateix Goldratt) qui l'ofereix una singular manera d'ajudar-lo. Al llarg dels capítols del llibre el professor de física va desgranant les bases de la Teoria de les Limitacions. Tal i com el director les va aplicant a la seva planta, va trobant dificultats i va descobrint els ets i uts de la Teoria i necessitant noves aportacions del físic.

El contingut teòric de La Meta queda explicat d'una manera diàfana amb exemples senzills i amb els casos pràctics que succeeixen a la fàbrica del protagonista. En els següents paràgrafs s'intenta resumir els punts més importants de la teoria, els quals han de servir per a assentar les bases i poder desenvolupar el present PFC de millora de la producció a l'empresa C&S, S.L.

#### 6.1.2. LA META

Tot parteix d'un axioma clar: La Meta de qualsevol empresa no és una altra que la creació de diners. Tant és el sector o l'activitat a la que pertany l'empresa, l'objectiu primer, i darrer, és la creació de riquesa. La creació de diners. Dit d'una altra manera, qualsevol acció que es realitzi a l'empresa que no tingui com a fi la creació de diners l'estarà allunyant del seu objectiu.

#### 6.1.3. LES LIMITACIONS

Un cop conegut quin és l'objectiu de l'empresa, manca per conèixer quins són els obstacles que s'interposen a la via de creació de diners. Aquests obstacles poden estar en el propi mercat, o en una política empresarial incorrecta o en una mala planificació de compres, per exemple. Els obstacles poden ser tant interns com externs a l'empresa, i els uns i els altres reben el nom de *Limitacions*. Habitualment, també es trobaran limitacions entre els processos productius de l'empresa, localitzats en algun o en diversos dels seus recursos. Aquest recurs *Limitant* dins d'un procés és conegut també com el *Coll d'Ampolla* del procés.

Les tasques que es desenvolupen en una organització, tant si es tracta d'una planta productiva com d'una empresa de serveis, es poden ordenar per processos. Aquests processos bé es poden agrupar en d'altres més grans dels que formen part, o bé es podrien dividir en d'altres més petits d'un detall més precís. Dintre d'aquesta estructura, s'ha de tenir molt present que si els processos són dependents els uns dels altres, les fluctuacions aleatòries que es produeixin entre ells no seran recuperables.

Dintre d'un sistema de processos dependents, qualsevol petita fluctuació d'un dels recursos provocarà un endarreriment de temps que no serà recuperable. La fluctuació pot tenir nombrosos motius, ja es tracti d'una distracció de l'operari o per una avaria important. Poc o molt, aquest temps perdut afectarà a la producció i no serà recuperable.

Una possible solució a aquest conflicte és la creació d'un petit inventari de material entre els recursos, també anomenat buffer o pulmó, que ajudi a equilibrar aquestes fluctuacions. Evidentment, aquesta solució no cobriria avaries serioses dins del procés, però sí seria útil dins d'un ampli espectre de situacions.

No obstant, les línies productives solen ser més complexes i els processos poden tenir dimensions més difícils de veure i de controlar. Goldratt narra al llibre un exemple gràfic per a il·lustrar el comportament de processos dependents. L'Àlex Rogo és l'encarregat de portar a la colla scout del seu fill a una excursió a la



mntanya. Amb una agenda bastant atapeïda, l'Àlex es veu obligat a fer forçar el pas dels nens, però de seguida veu que resulta impossible que el grup es mantingui unit, ja que mentre uns nens mantenen un pas ferm a d'altres, menys destres, els hi costa seguir:

- Si els més lents van tancant el grup, el grup s'estira.
- Si els més lents van enmig del grup, provoquen un tall i el grup s'estira també ja que fan de tap dels nens que van darrera.
- Si un dels nens s'atura per cordar-se la sabatilla, per exemple, només es podrà tornar a enganxar al grup si té capacitat i pot caminar prou ràpid després. Altrament, el grup l'haurà d'esperar un temps que farà retardar l'expedició.
- El millor per mantenir el grup unit, se li acut a l'Àlex que és mantenir els nens més lents al davant. De manera que els més ràpids caminaran darrera, això sí, per sota de la seva capacitat.

Amb aquest senzill exemple, Goldratt mostra al llibre com pot ser de complicat manegar un procés amb recursos dependents que tinguin diverses capacitats nominals garantint, a més, el mínim temps de procés possible. Val a dir que, si bé l'Àlex Rogo pot modificar l'ordre dels nens, no resulta habitual poder modificar l'ordre dels recursos en un entorn industrial, sol ser bastant més complicat que això.

#### **6.1.4. MÈTODE DRUM – BUFFER – ROPE (DBR)**

El mateix Àlex formula una possible solució al problema, i aquesta consisteix en unir a tots els nois mitjançant una corda suficientment llarga. Prou llarga com a garantir la comoditat necessària per al moviment de la marxa i permetre les petites fluctuacions aleatòries produïdes, per exemple, per l'orografia del terreny o la pròpia gambada del nens. La distància entre el primer i l'últim mai serà superior a la llargada total de la corda i el ritme de la marxa serà tan ràpid com el més lent dels nens, que en aquest cas es un noi anomenat Herbie.

La intenció de traslladar aquesta idea d'una manera senzilla a una planta productiva provoca que en Goldratt enuncii el mètode anomenat Tambor, Pulmó i Corda (o DBR de l'anglès Drum, Buffer, Rope):

- Drum, qui marca el ritme és el tambor, el recurs més limitant de la línia. És en Herbie, el coll d'ampolla del procés.
- Buffer, es tracta de l'espai de llibertat que dona la porció de corda que lliga els recursos al procés. Dona marge de maniobra necessari per tal de poder recuperar-se de les fluctuacions aleatòries dels processos dependents.
- Rope, és el sistema que permet que el procés tingui un inici i una fi, és a dir, un temps de cicle sota control. I a més, garanteix que el ritme del procés no sigui inferior al que marca el coll d'ampolla.

La definició d'aquests tres elements dins del procés ha de permetre a l'empresa governar la producció de la línia en qüestió:

- Drum: el recurs coll d'ampolla del procés. Només existeix un coll d'ampolla en el procés, no pot haver més d'un a la vegada.
- Buffer: es tracta d'un petit inventari de material, o pulmó. Es disposa davant de cada recurs per tal de protegir la producció enfront d'aquelles fluctuacions aleatòries que es puguin produir entre els processos dependents.
- Rope: sistema efectiu, digital o analògic, que permeti controlar que el ritme de la producció del coll d'ampolla sigui seguit per la resta de recursos del procés, alertant als recursos amb sobre-capacitat per a que rebaixin la seva quota d'ús, per exemple.

Com s'ha observat, l'acceptació d'aquest model tindrà implicacions dins de la línia: la resta de recursos amb excés de capacitat hauran d'adaptar-se a la producció del coll d'ampolla. Sovint hauran de reduir el seu temps d'ús. Això afectarà els indicadors productius i poden ser mal interpretats per aquells directius que no estiguin formats en la matèria.

#### **6.1.5. METODOLOGIA D'IMPLANTACIÓ DE LA TOC EN UN PROCÉS**

A banda de definir el sistema de gestió DBR, Goldratt enuncia una metodologia concreta per a la implantació de la Teoria de les Limitacions com a sistema de millora continua. Es tracta de cinc passos a seguir en aquest ordre:

1. Identificació del coll d'ampolla.
  - Es tracta de la identificació del recurs limitant del procés. Segons aquesta Teoria, només existeix un recurs coll d'ampolla al mateix temps.

- La capacitat d'un recurs es mesura calculant les unitats que produeix en un període de temps. Habitualment expressat en unitats/hora o unitats/jornada, s'ha de tenir en compte el temps d'us i el de preparació sobre el total de temps disponible.
  - En un flux de material ordenat i prou visual es pot arribar a identificar el coll d'ampolla per l'acumulació de material davant del recurs. Es poden usar mètodes per acabar d'identificar-lo, com els 5 perquè o un diagrama d'espina de peix o Ishikawa.
2. Decisió sobre com explotar el coll d'ampolla,
- La capacitat de tot el procés serà tan petita com ho sigui la capacitat del coll d'ampolla. Per tant, qualsevol increment de la capacitat repercutirà en un augment global de la producció.
  - Dins de l'exemple que Goldratt usa a La Meta, es tracta de realitzar totes aquelles accions possibles per a que el Herbie pugui anar més ràpid. Per exemple, procurar que no s'aturi més d'allò imprescindible, repartir la càrrega de la seva motxilla entre els seus companys, o canviar-li el calçat per un més còmode, o a més llarg termini aplicar-li un programa d'entrenament físic.
  - En el cas de la planta industrial, convé fer una anàlisi que avaluï al complet les característiques del recurs.
  - Serà de gran utilitat conèixer els indicadors OEE (Overall Equipment Efficiency o Eficiència General dels Equips), per reduir les errades i per a incrementar el temps disponible del recurs, i la seva eficiència.
  - Per augmentar la disponibilitat del recurs serà interessant atacar cadascuna de les causes d'aturades de màquina, fer preparacions fora línia, aprofitar els descansos dels operaris suplint-los amb operaris formats que vinguin d'altres seccions o recursos, augmentant la jornada laboral amb hores extres, etc.
3. Subordinació de tot a la decisió anterior,
- Un cop s'ha decidit com afrontar l'explotació del coll d'ampolla, s'ha de programar la producció de la resta de recursos en funció al propi coll d'ampolla. L'inventari que es generi de més es considerarà un malbaratament per sobreproducció.
  - La proposta de Goldratt és la d'una gestió de la producció basada en un DBR (Drum, Buffer, Rope). Aquest sistema ja s'ha comentat unes línies més amunt:  
El Drum o Tambor és el coll d'ampolla, què marcarà el ritme de la producció.  
Aquest Tambor s'abasteix d'un inventari anomenat Buffer o Pulmó, suficientment gran com per a garantir que no s'aturi el coll d'ampolla. La decisió sobre la mida del Pulmó resulta arbitrària en cada cas, ja que depèn de la capacitat de regeneració del Pulmó, i això depèn de diverses variables. No obstant, amb el material per a un torn de treball sol considerar-se suficient. Dóna temps de marge suficient per a recuperar-se davant dels imprevistos més habituals com ara una avaria seriosa o una successió de petites ineficiències.  
Per últim, s'establirà un Rope o Corda, és a dir, un sistema que ha de garantir que els altres recursos del procés no treballin per sobre del ritme del coll d'ampolla (ni per sota). A les fases posteriors al coll d'ampolla el material flueix, ja que tenen una capacitat superior. La Corda serà imprescindible per a establir el ritme de les fases anteriors al coll d'ampolla. Per a aquests recursos anteriors al coll d'ampolla es pot aplicar un sistema de Corda bastant senzill simplement creant un àrea visual de Buffer. Aquests recursos han de transformar el material corresponent a no més d'una jornada de treball del coll d'ampolla. Un cop assolida la producció, aquests recursos poden passar a realitzar altres tasques, com ara la de manteniment preventiu, la de neteja o, el que resulta més interessant, poden passar a donar suport directament al coll d'ampolla. El suport pot ser en forma de preparacions fora de línia, o bé suplint als empleats en el seu període de descans o de dinar.
  - Com es pot intuir, aquesta subordinació al coll d'ampolla obligarà a la resta de recursos a realitzar més canvis de referència per adequar-se a la producció. De idèntica manera els seus indicadors OEE baixaran, ja que s'adequaran lògicament a la capacitat del coll d'ampolla. Goldratt ja adverteix que l'adopció del model DBR ha d'acompanyar-se per un canvi de gestió de la Direcció de l'empresa.
4. Superació de la restricció del sistema elevat la seva capacitat,
- Cada unitat en la que s'aconsegueix elevar la capacitat del coll d'ampolla representa un increment directe en la capacitat total del procés. Dit d'altra manera, cada unitat de més que es fa al coll d'ampolla representa directament una unitat més venuda. Aquesta afirmació no és pot fer per a cap dels altres recursos no colls d'ampolla.
  - En la persecució d'aquest objectiu, d'aquesta *Meta* d'elevar la capacitat, Goldratt parla inclús de recuperar maquinaria i recursos en desús dintre de la fàbrica. L'Àlex Rogo recupera per a la producció una màquina, la "Zmegma", que havia estat substituïda feia temps per d'altres més modernes. Si aquesta maquinària manté encara la seva funcionalitat, contribuirà a incrementar la producció, encara que no siguin tan competitives com els recursos titulars.

- Òbviament, està l'opció d'invertir en l'adopció d'un recurs nou. En aquest cas, com en la resta de casos, s'haurà de fer un estudi que avaluï el retorn de la inversió per tenir clara la rendibilitat de l'operació.
  - Altres opcions a considerar són la subcontractació de la tasca del coll d'ampolla a un proveïdor extern, o inclús comprar directament el subproducte fet a un proveïdor extern.
5. Si la limitació s'ha superat, tornar a realitzar el cicle des del pas número 1, però sense permetre que la inèrcia provoqui un nou coll d'ampolla.
- En el moment en que s'eleva suficientment la capacitat i se supera la limitació definida en el punt 1, deixa de tenir sentit continuar elevant la capacitat d'aquest recurs. Per definició, si ha deixat de ser el limitant del procés és perquè un altre recurs s'ha transformat en el coll d'ampolla.

## 6.2. VALUE STREAM MAPPING: FONAMENTS TEÒRICS

A l'apartat anterior s'ha explicat com es desenvolupa la metodologia TOC dins d'una línia productiva. En aquesta metodologia sorgeix la necessitat de conèixer el comportament dels processos involucrats, per tal de definir el coll d'ampolla i conèixer els seus efectes. Es crea així la necessitat d'utilitzar alguna eina que faciliti aquesta tasca de definir en detall el procés productiu.

### 6.2.1. DEFINICIÓ

El *Value Stream Mapping* (també VSM en endavant), o *mapa de la cadena de valor* es tracta d'una eina de gestió Lean nascuda en l'entorn del Sistema de Qualitat de l'empresa japonesa Toyota. Un dels grans pilars de la filosofia Lean és la identificació, el control i l'eliminació d'aquells processos i tasques que no aporten valor a la línia i aquests són identificats com algun dels diferents tipus de malbaratament.

El VSM representa d'una manera gràfica tots els fluxos d'informació i de materials que es produeixen en un procés. De l'estudi del diagrama resultant s'obté una relació precisa de totes aquelles accions que no aporten valor al procés. S'entendrà com que allò que aporta valor al procés és tot allò pel què el client sí està disposat a pagar. Per contra, el client no estarà en disposició de pagar pels: temps d'espera, moviments o transports innecessaris, inspeccions, temps de preparació de màquines, etc. En conseqüència, tots aquests elements del procés seran considerats com a malbarataments i es persegueix la seva eliminació.

Es tracta realment d'un sistema iteratiu de millora continua del procés, que segueix el conegut cicle Deming, plan (planificar) – do (fer) – check (verificar) – act (actuar). Quan queda definit l'estat inicial, s'analitza mitjançant un equip multifuncional i es dissenya un nou mapa a on s'implementen els canvis i les millores que s'estimen adequades per a eliminar els malbarataments. Un cop implementades realment les millores a la línia es podrà dibuixar un nou VSM que permetrà mesurar els resultats i emprendre un nou cicle.

### 6.2.2. OBJECTIU

L'objectiu del VSM és la identificació dels malbarataments o tasques que no generen cap mena de valor afegit, en el producte o en el servei que s'ofereix al client, per tal d'eliminar-los del procés i aconseguir consegüentment un estalvi econòmic per l'empresa i/o una millora en el servei al client.

### 6.2.3. METODOLOGIA

El Value Stream Map es compon per un complet diagrama que simbolitza tot el procés que es vol analitzar i les seves característiques. El mitjà que s'utilitza pel disseny del mapa depèn de cada cas i pot variar des d'un programari informàtic, fins a una pissarra o un simple full de paper. Les icones que s'empren per a representar les característiques dels processos es troben estandarditzades però no es tracta d'un model tancat i que permeten noves incorporacions a necessitat de l'empresa.

Bàsicament, els passos a seguir per a definir el VSM són els següents:

#### PAS 1, DADES PER A REPRESENTAR L'ESTAT INICIAL:

Resulta necessari un bon coneixement del procés per tal de realitzar un VSM complet i operatiu. Per aquest motiu es tindran en compte les dades existents sobre:

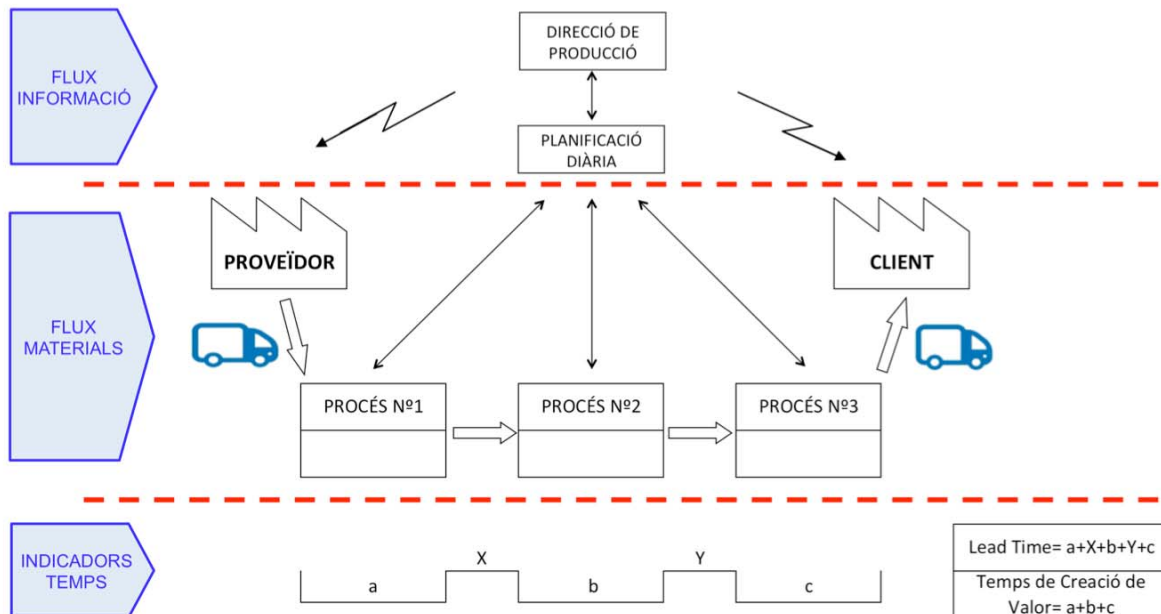
- L'esquema complet del flux del procés, des del seu inici fins a la fi, sense oblidar les referències a possibles altres processos que puguin estar relacionats. El nivell de detall haurà de ser el suficient com per a permetre que el mapa sigui operatiu i no caldrà arribar a un detall excessiu.
- Les característiques crítiques sobre el procés com els Temps de Cicle, nombre d'operaris, Temps de preparació, o Temps de procés, el material en curs, nivells d'estoc i altres indicadors que puguin ser rellevants en l'àmbit de l'empresa.
- Les característiques sobre les periodicitats dels transports interns i externs, o les comunicacions crítiques amb els clients i proveïdors.

#### PAS 2, REPRESENTACIÓ DEL VSM L'ESTAT INICIAL:

L'estructura del diagrama es divideix en tres camps diferenciats:

- L'àrea dels fluxos d'informació: es defineixen tots els intercanvis de dades i informació que es realitzen, indicant l'emissor, el receptor, i altres detalls com el canal o la freqüència.

- L'àrea dels fluxos de material: es representen els processos per caixes, a on s'especifiquen les dades rellevants, com els temps de cycle, els temps d'ús, etc. També es representen aquí els estocs d'inventari i els fluxos de material entre els processos, indicant quantitats o freqüències en cada cas.
- L'àrea dels indicadors de l'activitat: es quantifiquen els temps d'espera, els temps de creació de valor. S'obtenen el *Lead Time* o *temps d'entrega* i el *Temps total de creació de valor*.



IMATGE 7, EXEMPLE VALUE STREAM MAP

El VSM es completa amb tota la informació necessària per a permetre realitzar una anàlisi exhaustiva del procés seleccionat.

### PAS 3, ANÀLISI DEL VSM DE L'ESTAT INICIAL:

S'estableix per a l'anàlisi del VSM un equip multidisciplinar que sigui crític amb l'estat inicial i que garanteixi l'establiment de les solucions des d'un espectre el més plural possible. Algunes de les característiques del procés d'anàlisi es poden abordar metòdicament segons els punts següents:

- Identificació de processos que puguin treballar en un flux de producció continua.
- Establir un flux de producció Pull allà on sigui possible.
- Establir una adequada distribució de la producció en cas que diferents productes comparteixin recursos.
- Identificació de les causes dels malbarataments en el procés: estocs i processos innecessaris; temps d'espera; transports; moviments de materials, recursos i operaris; rebuig; operaris ociosos.
- Establiment d'estocs de seguretat correctament dimensionats.

### PAS 4, REPRESENTACIÓ DEL VSM FUTUR AMB LES MILLORES PROPOSADES:

Del resultat de l'anàlisi del VSM sorgeixen unes propostes concretes de millora que han de ser quantificables. Per tant, amb els nous elements de definició de la línia, es pot traçar una nova versió del VSM contemplant un estat futur, a on es recullen les modificacions proposades.

El VSM del model futur inclourà els càlculs del Lead Time, del Temps total de valor afegit i d'aquells indicadors estratègics que l'organització hagi estimat oportú incloure dins l'estudi (si n'hi ha).

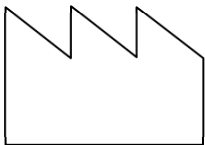
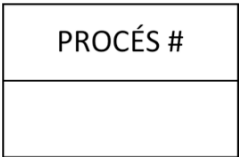

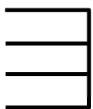
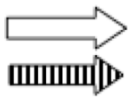

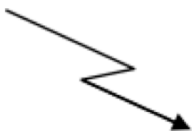

Amb aquest VSM representant amb precisió l'estat futur es podrà argumentar la idoneïtat d'implementar o no les millores sobre el procés.



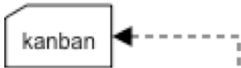
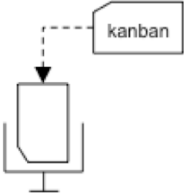



### PAS 5, IMPLEMENTACIÓ DE LES MILLORES DEFINIDES PEL VSM DE L'ESTAT FUTUR:

Finalment, amb la introducció de les millores a la planta, conclou el cicle de millora del sistema. La mesura dels resultats obtinguts permetrà jutjar la millora obtinguda en el procés definit. Un nou cicle de millora començarà iniciant de nou la metodologia des del primer punt.

### 6.2.1. ICONES UTILITZADES EN L'ELABORACIÓ DEL VSM:

Malgrat que l'elaboració del VSM permet força llibertat en els formats per a la seva elaboració, a continuació es fa un recull de les principals icones utilitzades i que es troben estandarditzades en la representació d'un Mapa de la Cadena de Valor:

Icona	Ús de la icona
	S'identifiquen tant el client com el proveïdor. Dins del calaix es pot definir aquelles dades relacionades que s'estimin oportunes: demanda o producció diària o mensual, facturació mensual, nombre d'operacions diàries, etc.
	S'identifiquen cadascuna de les parts que intervenen en el procés descrit. Poden ser tasques, o processos sencers en sí mateixos. El grau de desglossament i de detall que s'hi descriu ve definit en el mateix propòsit del VSM. S'inclou informació rellevant relacionada. La més habitual és: nº d'operaris, Temps de cicle, Temps de preparació, nº de preparacions, nº de torns, nº de recursos, unitats de rebuig, unitats retreballades, Temps d'ús, quantitat produïda, Temps de procés, Lead Time, etc
	Indica un punt d'inventari entre fases i s'expressa per unitats en curs o bé per temps. Pot incloure altra informació rellevant relacionada.
	Representa un estoc del tipus supermercat, generalment utilitzat quan el flux de material que li arriba no és tan ràpid com per a abastir a la fase en la que se situa.
	Amb aquestes fletxes s'indica el transport (intern o extern) entre dues fases del procés. Les blanques indiquen un flux Push de producció, mentre que les ratllades indiquen que el flux és Pull. Pot incloure altra informació rellevant relacionada.
	Representa l'intercanvi d'informació (formal i informal) entre processos. Pot ser unidireccional o bidireccional. Pot incloure altra informació rellevant relacionada com el canal, la freqüència, etc.
	Representa específicament un intercanvi d'informació electrònicament (internet, intranet, etc.)
	El símbol del camió indica transport extern. Pot incloure informació referent, per exemple, a la freqüència.

Icona	Ús de la icona
	Representa a un operari i se situa dins de la caixa del procés.
	Representa un senyal Kanban, ja sigui físic o electrònic, i se situa dins d'una gestió d'estoc del tipus Kanban <sup>1</sup> .
	Representa la tarja Kanban i la fletxa indica l'origen i el flux que segueix la tarja fins al seu destí. Si la tarja és llisa, indica que és un Kanban de producció; si és ratllada, indica que és un Kanban d'estoc.
	Indica el destí de la tarja Kanban, a on es rebrà en el recipient (físic o electrònic) adequat pel seu tractament.
	Lead Time o Temps d'entrega a la part alta i Temps de Procés o Temps de cicle a la part baixa.
	Indica que s'introdueixen dades en el sistema informàtic (base de dades, intranet, etc)
	Indica millora en el procés. Realitzat el VSM de l'estat inicial i un cop feta l'anàlisi, se senyalen els punts de les millores a implantar en el sistema.

TAULA 12, ICONES ESTÀNDARD EN EL DISSENY DEL VSM

<sup>1</sup> La gestió del Kanban s'explica àmpliament en el punt corresponent de la present memòria.

## 6.3. KANBAN: FONAMENTS TEÒRICS

### 6.3.1. DEFINICIÓ

El *Kanban* és un sistema de gestió de la informació i del material a la planta propi dels entorns productius amb metodologia *JIT* (*just in time*). L'expressió prové del mot compost japonès que es pot traduir com *targeta* o *senyal* (*kan*) *visual* (*ban*). Aquesta eina *Lean* té el seu origen dins del sistema de qualitat de Toyota Motor Corporation i fou desenvolupat bora el 1947 per l'equip de l'enginyer Taiichi Ohno (1912-1990). Com d'altres metodologies nascudes a Toyota, la seva força rau en la seva simplicitat i robustesa.

### 6.3.2. OBJECTIU

El propòsit d'un sistema *Kanban* és el de mantenir el control del flux de la informació i del material a la línia productiva per tal de garantir que les fases del procés rebin el material necessari en el moment apropiat. Aquesta eina es pot aplicar entre les diferents fases d'una mateixa línia productiva, entre línies diferents o inclús amb els proveïdors externs i els clients.

Aquí s'explica el funcionament del *Kanban* per a un entorn productiu, però és perfectament vàlid en entorns de serveis, amb un ús força estès en la gestió de projectes, el desenvolupament de software, etc.

### 6.3.3. METODOLOGIA

Quan una fase de producció "B" (receptora) retira un lot de producció de la zona d'emmagatzematge prèvia per tal de processar-lo, ha d'assegurar-se de que el següent lot que retiri de l'estoc estarà disponible al mateix magatzem en el moment en que es disposi a retirar-lo.

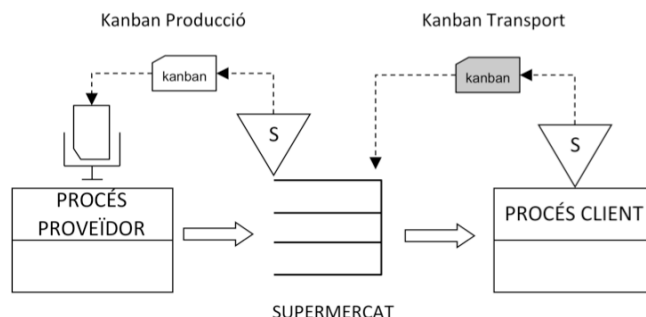
Per a evitar el temps d'espera produït per falta de material a processar, *Kanban* proposa que "B" emeti un senyal aigües amunt en el procés, amb la suficient antelació per a garantir que se li entregarà el lot a temps. Aquest senyal o tarja viatja a la fase anterior "A" (emissora o *font*), tant si es tracta d'una cèl·lula productiva com si es tracta d'un estoc d'inventari de producte en curs.

La fase "A" ha d'atendre el *kanban* que li envia la fase B i ha de respondre satisfent les condicions del lot demanat, tot respectant el nombre d'unitats i el termini. El *Kanban* indicarà a "A" quantes unitats necessita i de quin producte. El temps d'entrega esperat serà el propi lead time definit entre fases, a no ser que s'indiqui expressament que existeix algun tipus d'urgència, en tal cas, es tractaria aquest *Kanban* a "A" de forma prioritària per davant dels altres *Kanban*.

### 6.3.4. TIPUS DE KANBAN

#### 6.3.4.1. SEGONS LA NATURESA DE LA FONT "A":

- **Kanban de Producció:** la fase "B" dóna el senyal a la fase "A" per a que produeixi el producte. La tarja es converteix de facto en una Ordre de Fabricació. La font "A" és una cèl·lula productiva. El lead time haurà de tenir en compte el temps de producció del lot a "A" i el transport fins a "B".
- **Kanban Logístic, de transport o de retirada** (*withdrawal* en anglès): la fase "B" dóna el senyal a la fase "A" per a que transporti o de retirada de l'estoc a la fase "B". La tarja es converteix de facto en una Ordre de Retirada i Transport del material. La font "A" pot ser un magatzem de matèria primera o un de producte en curs. El lead time haurà de tenir en compte només el temps d'entrega del lot entre "A" i "B".



IMATGE 8, KANBAN DE PRODUCCIÓ I KANBAN DE TRANSPORT



#### **6.3.4.2. SEGONS LA RELACIÓ ENTRE LA FONT “A” I EL RECEPTOR “B”:**

- “A” i “B” estan a dins de la mateixa línia productiva.
- “A” i “B” pertanyen a dues línies diferents, inclús en plantes separades, de manera que s’estableix una relació de client-proveïdor intern.
- Entre “A” i “B” hi ha relació client-proveïdor extern.

#### **6.3.4.3. SEGONS EL CANAL DE COMUNICACIÓ DEL KANBAN:**

La comunicació pot ser física o informàtica:

- Una tarja física d’un format concret. Pot ser des d’una tarja escrita a mà fins a una tarja impresa amb codis de barres o QR que són escanejats per al control informàtic d’estocs.
- El mateix contenidor, més o menys personalitzat al producte, amb algun tipus d’identificació per al control logístic.
- Comunicació en format electrònic. Des d’un correu electrònic fins a un software comercial o un desenvolupat ad hoc.

#### **6.3.4.4. SEGONS LA INFORMACIÓ QUE INCLOU LA TARJA KANBAN:**

Principalment es troben dos tipus de Kanban:

- Kanban de producció: es tracta d’una ordre de treball. Per a la fase anterior. La informació que habitualment aporta és:
  - Codi i descripció de la peça,
  - Característiques per a produir la peça que siguin necessàries a una ordre de treball estàndard del procés, com per exemple, material o components necessaris per a produir la peça a la fase emissora.
  - Mida del lot a produir.
  - Número de peces per contenidor.
  - Nom del procés, estació o fase receptora del producte, línia a la què pertany, centre productiu i empresa.
  - Nom de la font, estació o fase emissora del producte, línia a la què pertany, centre productiu i empresa.
- Kanban logístic, de transport o de retirada (*withdrawal* en anglès): es tracta d’una petició feta per a que a la fase anterior transporti material. L’origen pot ser intern o extern a la fàbrica. La informació que habitualment aporta és:
  - Codi i descripció de la peça,
  - Nom del procés, estació o fase receptora del producte, línia a la què pertany, centre productiu i empresa.
  - Nom de la font, estació o fase emissora del producte, línia a la què pertany, centre productiu i empresa.
  - Mida del lot,
  - Tipus de contenidor i capacitat,

A banda d’aquests dos tipus, es poden trobar altres subtipus amb certes particularitats:

- Kanban urgent: dins d’una producció normal, Kanban extraordinari que indica que cal tractament urgent.
- Kanban d’emergència: la situació productiva es veu alterada per motius de manca de qualitat o avaria de màquina i s’ha de restituir el producte en un estat d’emergència.
- Kanban únic: quan dos o més processos estan tan units que es pot usar una sola tarja Kanban per satisfer les necessitats de producció i retirada.

#### **6.3.5. PRINCIPIS DEL SISTEMA KANBAN:**

Existeixen unes regles o principis bàsics que han de regir el Kanban. Els enumerem a continuació:

1. Els productes defectuosos no s’han d’enviar a les fases següents. D’aquesta manera es garanteix que totes les peces del lot produït seran vàlides.
2. El senyal Kanban s’emet amb les unitats estrictament necessàries. No es generarà excés d’inventari.
3. No es produeixen més unitats de les sol·licitades pel Kanban. No s’ha de generar més material que el demanat pel Kanban.

4. Optimitzar o equilibrar la línia per tal de garantir que les fases produeixen les unitats demandades pel Kanban en els terminis definits.
5. Prohibició expressa d'especular sobre la producció. S'ha de respectar escrupolosament la informació del Kanban, evitant especular sobre les unitats necessàries i els terminis. Així s'evita la producció de lots de material en base a criteris diferents a les targes Kanban.
6. Estabilització i racionalització dels processos. Per tal de reduir la generació de productes defectuosos, es desenvolupen processos estandarditzats i millores en les fases.

### **6.3.6. CONCLUSIONS**

Existeixen molts avantatges en l'ús d'aquesta eina de planificació Pull de la producció:

- El nivell d'inventari entre fases es redueix a aquelles quantitats que resulten indispensables.
- Els períodes d'entrega o lead time esdevenen més curts amb la racionalització dels lots i de la seva mida. El rati de comandes entregades a temps creix.
- És un mètode senzill, capaç de controlar fluxos complexos, que és entès per tots els operaris i en el qual tots s'hi involucren.
- És molt visual i permet una comunicació fàcil entre els supervisors i els operaris.
- Aquests aspectes fan més fàcilment detectables els defectes i les ineficiències, permetent una actuació més ràpida.

## **7. APLICACIÓ PRÀCTICA DE LES METODOLOGIES DEFINIDES**

Un cop conegudes les eines i els mètodes que s'utilitzaran, es passa a la posada en pràctica dins de les línies de corones i de serra de mà.

A les pàgines següents es desenvolupen els punts de la metodologia definida per la Teoria de les Limitacions.

Primer es plantejarà un estat inicial o punt de partida de la línia, en el que el VSM donarà una imatge precisa de les característiques del procés.

En un segon pas s'identificaran tant el coll d'ampolla com les possibilitats de millora de la línia.

En un tercer pas s'implementaran els principis de la Teoria de les Limitacions per tal de definir les accions que s'hauran de dur a terme per a superar la restricció de la línia.

Dins d'aquesta fase de l'estudi, per a la línia de producció de corones s'establirà un nou control de l'inventari en curs a través de la incorporació d'una gestió Kanban de magatzem.

Finalment, es representaran les modificacions del procés provocades per les accions implementades. Es farà servir el disseny d'un nou VSM que permetrà conèixer les xifres dels nous models.

En l'apartat reservat a les conclusions es valorarà la idoneïtat de les solucions adoptades.

## **8. LÍNIA DE CORONES**

### **8.1.SITUACIÓ INICIAL**

Per analitzar la situació inicial de la línia de corones s'usa l'eina del Value Stream Mapping i un esquema del layout de la planta.

La planificació de la producció de la línia es basa en la planificació de la fase 8, i que aquesta es planifica en base a les comandes de client que entren en cartera. La planificació de la producció segueix un model push fins a la fase 7 i un model pull de la fase 8 endavant.

De l'anàlisi fase a fase extraïem la següent informació amb l'ajuda del Value Stream Map:

Fase 1, entrada matèria primera:

- Planificació del tipus Push basada en l'històric de comandes del client.
- Es rep material del proveïdor (fleix i tapes), es dóna d'alta al sistema informàtic i s'emmagatzema a l'àrea de matèria primera.
- Genera el magatzem de matèries primeres.

Fase 2, tall:

- Planificació del tipus Push basada en el consum històric de comandes i en l'estoc existent entre fases que mostra el sistema informàtic.
- El material s'agafa del magatzem de matèria primera.
- Cada lot de producció està format per una sola referència.
- La quantitat de corones a cada lot és força gran. Aquesta quantitat ve definida per l'històric de comandes. Una bobina de fleix es fa servir per tallar corones de diversos diàmetres.
- La quantitat del lot es fixa segons la quantitat de material que hi ha a l'estoc que alimenta la fase 4.
- El material processat genera un estoc de material tipus supermercat per alimentar la fase 3.

Fase 3, corbar:

- Planificació del tipus Push basada en el consum històric de comandes i en l'estoc existent a la fase 8.
- El material s'agafa de l'estoc creat per la fase anterior.
- Cada lot de producció està format per una sola referència.
- El material processat alimenta el pulmó de tipus supermercat de la fase 4.

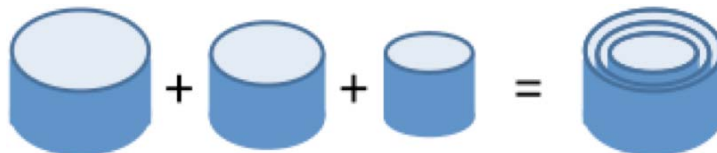
Fase 4, soldar cos:

- Planificació del tipus Push basada en el consum històric de comandes i en l'estoc existent a la fase 8.
- El material s'agafa de l'estoc creat per la fase 3. Cada lot de producció es compon per un sol diàmetre de corones.
- La quantitat del lot es fixa segons la quantitat de material que hi ha a l'estoc que alimenta la fase 4.
- El material processat passa al pulmó de tipus supermercat de la fase 5.



#### Fase 5, trempat l'acer:

- Planificació del tipus Push basada en el consum històric de comandes i en l'estoc existent a la fase 8.
- El material s'agafa de l'estoc creat per la fase 4.
- La quantitat del lot es fixa segons la quantitat de material que hi ha a l'estoc que alimenta la fase 5.
- La capacitat del proveïdor del tremp es pot considerar il·limitada perquè és molt gran. El limitant serà sempre la capacitat interna de generar el lot i de gestionar l'enviament.
- El lot que s'envia al proveïdor del trempat d'acer es compon de corones de diversos diàmetres amb diversos lots de la fase 4. Les corones de diàmetres més petits viatgen dins de les altres:



IMATGE 10, OPTIMITZACIÓ DEL VOLUM EN ELS TRANSPORTS

- Es fan dos enviaments setmanals (dimarts i dijous). Quan s'envia un al proveïdor es recull l'anterior i es retorna a les instal·lacions.
- Les corones que arriben del trempat d'acer s'ordenen per diàmetres (això implica un temps de preparació o logístic) i es conforma un estoc de tipus supermercat que alimenta la fase següent.
- El lot que s'envia al proveïdor del trempat d'acer es compon de corones de diversos diàmetres amb diversos lots de la fase 4. Les corones de diàmetres més petits viatgen dins de les altres.
- Es fan dos enviaments setmanals (dimarts i dijous). Quan s'envia un al proveïdor es recull l'anterior i es retorna a les instal·lacions.
- Les corones que arriben del trempat d'acer s'ordenen per diàmetres (això implica un temps de preparació o logístic) i es conforma un estoc de tipus supermercat que alimenta la fase següent.

#### Fase 6, col·locar tapa:

- Planificació del tipus Push basada en el consum històric de comandes i en l'estoc existent a la fase 8.
- Les corones venen de l'estoc generat per la fase anterior. Les tapes s'agafen de l'estoc de matèria primera.
- Cada lot de producció es compon per un sol diàmetre de corones.
- La quantitat del lot es fixa segons la quantitat de material que hi ha a l'estoc que alimenta la fase 6.
- El material processat alimenta un estoc de tipus supermercat de la fase 7.

#### Fase 7, soldar tapa:

- Planificació del tipus Push basada en el consum històric de comandes i en l'estoc existent a la fase 8.
- Agafa el material del pulmó que produeix la fase 6.
- Cada lot de producció es compon per un sol diàmetre de corones.
- La quantitat del lot es fixa segons la quantitat de material que hi ha a l'estoc que alimenta la fase 6.
- El material processat alimenta el supermercat de la fase 8.

#### Fase 8, pintar:

- Planificació del tipus Pull basada en les comandes formalitzades del client.
- S'agafa el material de l'estoc tipus supermercat creat per la fase anterior.
- Un lot es compon per les diverses referències i quantitats que conformen una comanda, o per més d'una si comparteixen el color (ja sigui el mateix client o un altre), sempre que tinguin dates d'entrega molt properes.
- El material processat passa al pulmó de la fase 9.

#### Fase 9, tampografia:

- Planificació del tipus Pull basada en les comandes del client.
- El material s'agafa del pulmó de material generat per la fase 8.
- El lot es compon per una comanda o per més d'una si comparteixen el disseny del tampó, és a dir, si es tracta del mateix client, sempre que tinguin dates d'entrega molt properes.
- El material processat passa al pulmó de material de la fase 10.

#### Fase 10, empaquetar:

- Planificació del tipus Pull basada en les comandes del client.
- El material s'agafa del pulmó de material generat per la fase 9.

- Cada lot es compona per una comanda d'un client.
- El material processat passa al magatzem de producte acabat o àrea d'expedicions.

Fase 11, expedició producte acabat:

- Planificació del tipus Pull basada en les comandes del client.
- Es donen les sortides de les comandes a través dels transports programats.

## 8.2. ANÀLISI DE COSTOS

L'estudi de costos d'explotació d'una planta industrial pot realitzar-se de multitud de maneres. Es tracta d'un estudi tan complex com ho sigui el model adoptat per a fer l'exercici. Queda fora de l'abast de l'actual projecte la realització d'una anàlisi completa de costos. No obstant, sí que es representa un model molt simplificat dels costos relacionats amb la planta. L'objectiu és crear un marc bàsic que permeti realitzar la comparació dels costos entre els diversos models proposats. D'aquesta manera, per exemple, en aquesta simplificació de l'estudi no s'han calculat els costos financers derivats de l'activitat i s'han considerat tots els costos fixos com a termes constants invariables per a cadascuna de les alternatives productives presentades.

A la taula següent es presenta l'exercici realitzat sobre el càlcul dels costos, que han estat classificats per tipus i es presenten segons els següents conceptes:

Tipus	Descripció	Estat inicial	Unitats mensuals	Cost unitari	Cost anual estat inicial
Matèria primera	Fleix d'acer en palets.	Objectiu de producció de 30k unitats.	30.000	0,1	36.000
	Tapes de corona mecanitzades.	Objectiu de producció de 30k unitats.	30.000	0,2	72.000
Personal	Indirecte compartit (Administració, RRHH, Comercial, Manteniment, etc.).	3 persones, amb una dedicació aproximada del 40% (3 x 0,4).	1,2	20.000	24.000
	Directe (supervisor, operaris, personal temporal).	Nº operaris en producció.	7	20.000	140.000
Producció	Cost fix de producció.	Amortitzacions d'equipaments, maquinaria existent, immobilitzat, etc.	constant	constant	constant
	Cost variable de preparació.	Depenent de la producció.	165 h	1	1.980
	Cost variable de producció externa.	2 lots setmanals de la Fase 5.	8,66	150	15.588
	Cost variable de producció interna.	Depenent de la producció.	955 h	3	34.380
	Cost variable de recuperació de peça.	Tendeix a zero, ja que hi ha un rebuig menor al 0,002%.	0	Depèn de la fase	0
Qualitat	Cost variable inspecció després producció.	Autocontrol de l'operari en la pròpia manipulació del material durant la producció.	0	Depèn de la fase	0
	Cost variable inspecció després recuperació peça.	Tendeix a zero, ja que hi ha un rebuig menor al 0,002%.	0	Depèn de la fase	0
	Cost variable de rebuig definitiu.	Tendeix a zero, ja que hi ha un rebuig menor al 0,002%.	0	Depèn de la fase	0
Transport	Cost fix del transport a client/proveïdor.	Constant corresponent a amortització de la flota, etc.	constant	constant	constant
	Cost variable del transport a client.	Calculat al capítol de transport extern. Repartiment diari.	20	8	1.920
	Cost variable del transport a proveïdor.	Calculat al capítol de transport extern. Dos lots a la setmana de la fase 5.	8,66	30	4.317,6
	Cost variable del transport intern.	Calculat al capítol de transport intern.	7,27	10	872,4
Emmagatz-	Cost fix de l'emmagatzematge	Considerat constant corresponent	constant	constant	constant

Tipus	Descripció	Estat inicial	Unitats mensuals	Cost unitari	Cost anual estat inicial
zematge		amortització instal·lacions, etc.			
	Cost variable durant la producció.	Número de corones d'inventari pel seu valor corresponent segons la fase (a més valor afegit, més cost)	70.900	Depèn de la fase	662.690,4
	Cost variable durant recuperació de peça.	Tendeix a zero, ja que hi ha un rebuig menor al 0,002%.	0	Depèn de la fase	0
	Cost variable durant el temps d'entrega.	Número de corones d'inventari al magatzem producte acabat pel seu valor corresponent.	2.000	1	24.000
Manteniment	Cost variable per la producció.	Manteniment preventiu programat, depèn de la producció.	2	250	6.000
	Cost variable per recuperació de peça.	Tendeix a zero, ja que hi ha un rebuig menor al 0,002%.	0	Depèn de la fase	0
				<b>Total</b>	<b>708.818</b>

TAULA 13, RESUM DE LA RELACIÓ DE COSTOS ASSOCIADA AL MODEL INICIAL

Comentaris respecte a la taula:

- Als costos compartits amb altres recursos se'ls ha aplicat un factor de multiplicació del 0,4 degut a que les corones representen un 40% de la facturació.
- En quant als costos de qualitat, el tipus del producte i la manipulació durant les diferents fases no provoca rebuig de material pel que es consideren uns costos de qualitat tendents a zero.
- No es veuen reflectits en el present estudi els costos per manca d'existències. Es tracta d'aquells costos que inclouen els propis de la producció i l'entrega urgents provocades pel trencament d'estoc. Encara resulta més complicat quantificar l'impacte que aquests trencaments d'estoc tenen en la fidelitat dels clients i en la imatge de la marca. En aquest sentit, comentar que no es disposa de dades fefaents sobre quin és el volum de comandes entregades a temps, encara que s'estima que deuen ser un 85% aproximadament.

### 8.3.ASPECTES A FAVOR:

#### SUPERMERCAT DE MATERIAL:

L'estoc de tipus supermercat de la Fase 8 de pintura, dona la possibilitat de disposar de corones en una fase avançada de la producció. L'operari que prepara el material per a la fase 8 realitza el Picking de les corones en funció de les comandes del client. D'aquesta manera s'aconsegueix que el termini d'entrega des del moment de la comanda sigui sensiblement més curt que el temps del procés sencer des de la fase 2. Les comandes del client estan compostades per unitats de moltes referències diferents, en contrapartida, ens trobem amb un model productiu poc flexible que necessita de l'existència d'aquest supermercat per a poder satisfer-les dintre de termini.

A continuació, la taula representa la diferència de dies existent entre el lead time global i el lead time comptant només des del supermercat de la fase 8 endavant. La diferència de dies en l'entrega de la comanda arriba a ser de més de 47 dies de mitjana (si no tenim en compte el temps d'estada al magatzem de matèries primeres). Dintre de l'empresa es dona per fet que és necessari mantenir el supermercat de la fase 8 per a poder respectar els terminis d'entrega a client.

Temps a l'inventari del magatzem matèries primeres	Temps procés fases 2 a 7	Temps procés fases 8 a 11	Total Temps de procés
28 dies	47,25 dies	4,35 dies	79,61 dies

TAULA 14, REPARTIMENT DEL LEAD TIME

#### FLEXIBILITAT DE LA PRODUCCIÓ:

Com ja s'ha comentat, la producció s'ajusta a la demanda real dintre de les fases Pull del procés (de la 8 a la 11). D'aquesta manera s'aporta un cert grau de flexibilitat al sistema productiu ja que deixa de basar-se en una previsió de consum feta en base a un històric de comandes. En aquestes fases l'inventari és reduït ja que només es treballen productes que ja estan venuts i, com s'ha comprovat, el temps de cicle és molt més ajustat.



#### ALIANCES AMB PROVEÏDORS:

La Fase 5 del trempat de l'acer, es realitza per un proveïdor extern. Existeix el vincle d'un contracte de qualitat concertada que garanteix el servei. Malgrat que suposa haver de realitzar un transport extern d'anada i tornada, i en termes productius això sempre es veu com un aspecte negatiu ja que el transport en sí no aporta valor, s'ha de valorar aquest recurs positivament ja que té molta capacitat i pot assolir qualsevol volum de producció que li sigui enviat. De igual manera, és un procés que difícilment es podria assumir dins de la planta ja que suposaria una inversió important que no resultaria rendible.

#### PERSONAL:

Ens trobem amb un model de planta productiva sortida de la fusió de diversos tallers petits (pintura, soldadura, tremp, etc). Per aquest motiu precisament, els respectius caps de secció tenen participació en l'accionariat de l'empresa. A banda d'acumular una experiència singular molt longeva, això és garantia de compromís en la participació activa de les accions de millora que es plantegen a la línia.

### 8.4.ASPECTES EN CONTRA:

#### PERSONAL:

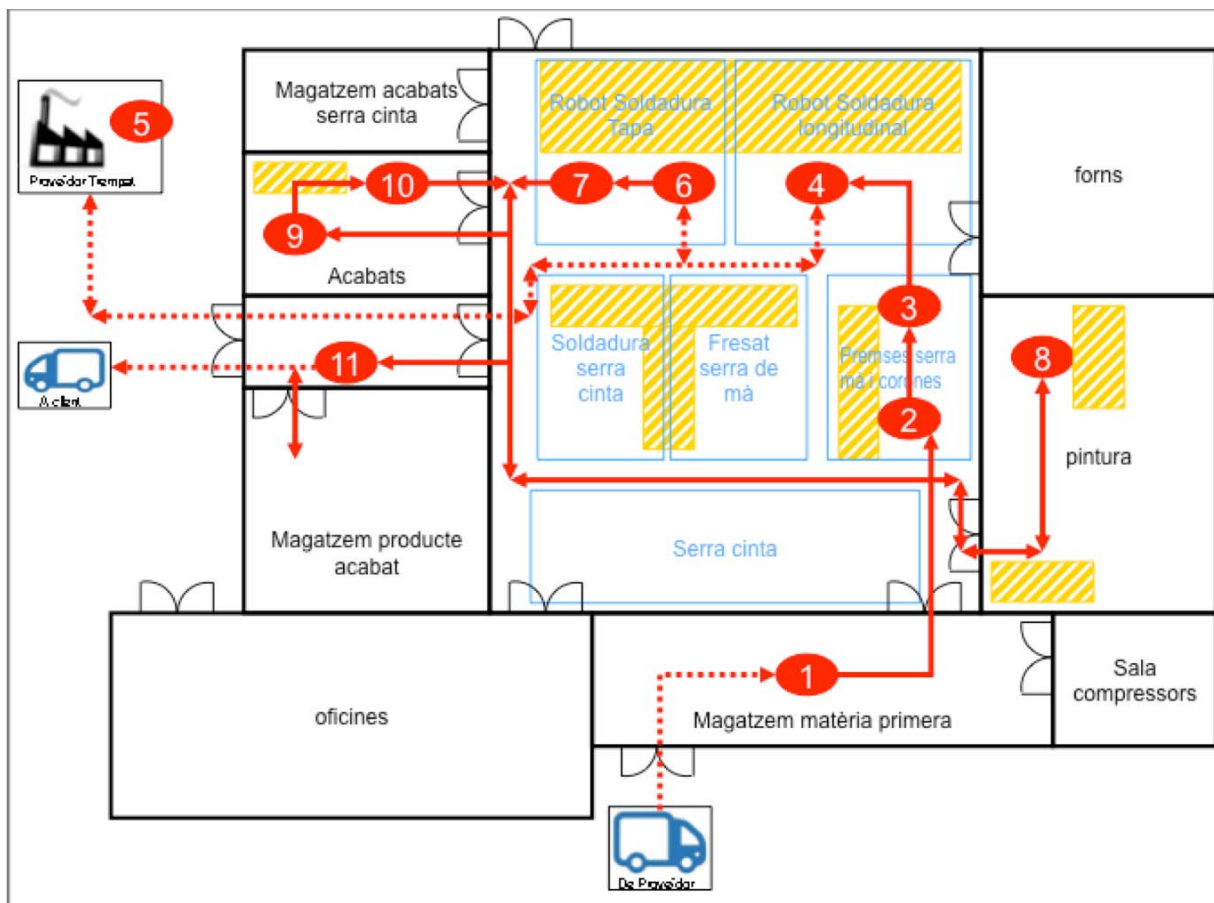
Per una banda trobem que els caps de secció estan força compromesos amb les polítiques de millora en les que ells mateixos participen. Però per l'altra banda, trobem també tasques ateses per treballadors temporals poc compromesos i/o amb poca formació. Existeix poca polivalència entre línies i no hi ha implantat cap programa per a la seva millora.

La mitjana d'edat del nucli més experimentat és força elevada i coincideix precisament amb que és el personal amb més mancances en l'ús de la informàtica i les noves tecnologies. És interessant destacar que el personal amb més experiència acumula una gran quantitat de coneixement tàcit que no està explicitat enlloc. Existeix un elevat risc de pèrdua del *know how* dels processos més singulars, els quals esdevenen també tret distintiu de l'empresa davant de la competència. Hi ha una gran manca de procedimentació dels processos i tasques.

#### LAYOUT POC EFICIENT:

Les característiques del layout es poden observar en el següent esquema de la planta, a on estan representats:

- Les àrees productives.
- Els magatzems de matèries primeres.
- Marcades en groc, les àrees que ocupen els inventaris de producte en curs entre fases.
- Les fases del procés productiu, amb els seus números corresponents. Les externes estan fora de la planta.
- Els fluxos de material: en línia contínua els desplaçaments interns; en línia discontinua aquells que tenen l'origen o el final fora de la planta.



MATGE 11, ESQUEMA DEL LAYOUT DE PLANTA EN LA SITUACIÓ INICIAL

Es resumeixen a continuació les ineficiències que s'han pogut detectar:

- El flux productiu a la planta comença dibuixant un model de línia en "L" però no ho acaba sent. Les fases número 5, 8 i 9 obliguen a traçar recorreguts força llargs a la planta i gens eficients, que encaixen més en un model tipus espagueti del workflow:
- La fase 5 es produeix fora de la planta, pel que hi ha producte no acabat a la zona d'expedicions. Sovint es tracta d'un volum gran que ha d'esperar-se a l'àrea de la fase 4. Quan torna del tremp ha d'ubicar-se al pulmó de la fase 6.
- La secció de pintura està a la banda oposada a la de tampografia, pel que entre les fases 7, 8 i 9 el material ha de creuar dues vegades la planta.
- La causa de la manca d'eficiència del layout pot buscar-se a l'origen del seu disseny. El principal criteri de disseny ha de ser l'optimització del workflow a la planta. No obstant, és ben probable que originalment van pesar bastant d'altres criteris que es considerarien secundaris, com:
- L'adaptació a l'espai disponible en planta,
- La creació de seccions diferenciades com la de pintura, soldadura, trempat d'acer, etc. segons la naturalesa dels recursos, encara que aquests recursos pertanyin a línies productives de productes diferents,
- Aquests criteris són molt importants a l'hora de definir el layout de la planta, però haurien d'estar sempre subordinats a l'obtenció del workflow més eficient possible.
- No obstant, a l'escenari presentat resulta complicat moure l'emplaçament dels recursos per a dibuixar un flux més eficient. Moure l'emplaçament d'una instal·lació té costos que molts directius de petites empreses no estan disposats a afrontar fàcilment.
- Existeix un alt volum d'inventari entre les fases. Això provoca que s'hagin de reservar a cada fase unes àrees específiques d'emmagatzematge per al producte en curs (observar les zones marcades en groc al layout). El volum d'aquestes àrees no és fix, sinó que fluctua amb el temps segons la producció programada. Això en dificulta l'ordre i la gestió logística.

A continuació es representa una taula amb una aproximació al número i la distància dels desplaçaments interns a la planta. S'han mesurat els metres que separen les fases, inclosos aquells desplaçaments realitzats als inventaris de cada fase. S'ha realitzat una simplificació del nº de desplaçaments diaris imprescindibles tenint en

compte bàsicament els canvis de lot en una jornada productiva estàndard. S'obté d'aquesta manera un càlcul diari i un valor mensual que ajuda a dimensionar la quantitat de metres recorreguts per tasques logístiques. Molts d'aquests metres resulten d'un layout poc eficient i no aporten valor en sí mateixos. La comparació d'aquest exercici amb el realitzat a la resta de models permet valorar objectivament aquest punt del model.

Procés	Nº desplaçaments diaris	Distància entre fases (metres)	Distància diària (metres)	Distància mensual (metres)
Nº1 ENTRADA	0,5	10	5	100
Nº2 TALLAR	2	35	70	1.400
Nº3 CORBAR	2	20	40	800
Nº4 SOLDAR	2	10	20	400
Nº5 TREMPAR	2	100	200	4.000
Nº6 Col·locar TAPA	2	10	20	400
Nº7 Soldar TAPA	2	10	20	400
Nº8 Pintar	2	130	260	5.200
Nº9 Tampografia	2	4	8	160
Nº10 Empaquetar	2	32	64	1.280
Nº11 Expedició	2	10	20	400
<b>TOTALS</b>	<b>20,5</b>	<b>371</b>	<b>727</b>	<b>14.540</b>

TAULA 15, DISTANCIA TRANSPORTS INTERNS A PLANTA

A la taula destaquen els desplaçaments de la fase del tremp, què és externa, i de la fase de pintura, que creua la planta.

Si es considera una velocitat de 2 Km/hora d'un operari transportant corones entre els punts d'inventari i un cost hora de 10€, resulten 7,27 hores de treball amb un cost estimat de 72,7€.

#### INVENTARI DE MATERIAL ELEVAT:

Per definició, el fet de mantenir un estoc tipus supermercat a la fase 8 suposa un gran inventari, amb tots els costos que això implica. La proporció de l'estoc tindrà relació directa amb el volum de comandes a satisfer i amb la capacitat de regenerar-lo. Si el dimensionament del supermercat és erroni:

- per excés, es produeix un estoc excessiu de producte. En ocasions, les corones s'hi estan dos mesos.
- per defecte, es produeix una ruptura d'estoc que atura la preparació de comandes sortints. Les urgències s'han de produir a la línia.

El manteniment de tant de producte entre fases, es gestiona sense eines informàtiques adequades, amb inventaris variables i caòtics, de manera que acaba incidint negativament sobre:

- l'ordre a les àrees de les unitats productives,
- el temps de preparació de lots i la gestió logística i, per tant, en el Lead Time del procés,
- l'increment del risc d'errada, confonent unes referències amb altres, per exemple.
- de retruc, en la pròpia neteja de la planta.

#### ESCASSA FLEXIBILITAT DE LA PRODUCCIÓ:

La flexibilitat productiva de la línia es pot mesurar per la seva capacitat d'adaptar-se a les necessitats del client. Les característiques que actualment redueixen el grau de flexibilitat de la línia de producció de corones es poden resumir en la següent sèrie de punts:

- No existeix cap fase de la línia que treballi organitzada en un flux continu de material. Cadascuna de les fases que no treballa en continu genera inventari entre fases, augmentant els costos per inventari i afectant al layout i incrementant el Lead Time global del procés.
- A les fases Push es treballa amb lots de producció relativament grans. El criteri usat és el de fer el mínim possible de canvis de referència per tal de tenir el màxim temps de producció. Això també implica un

cicle molt llarg des de l'entrada a producció una referència de corona fins a que es torna a produir, ja que han de passar tota la resta de referències per les fases de producció.

A la taula a continuació es representa una simulació basada en el model del VSM. S'observa la incidència que tindria sobre la producció diària l'increment del número de preparacions, passant d'una a tres, o inclús a cinc preparacions. Tot el temps dedicat a les preparacions per canvi d'utilitatge és temps en que no s'està produint, i es pot interpretar (sovint erròniament) que és temps producció que es perd. Es pot observar que el decrement del número de corones produïdes per cada preparació afegida té un comportament lineal: a raó d'un 3,4% en el coll d'ampolla de la fase 3, per exemple, o d'un 7% a la fase de pintura (encara que aquesta fase treballa per lots de pintura i no de referències de corones, és a dir, s'ha de considerar que difícilment es canviarà més de tres vegades el color en una jornada).

Procés	T prep (seg)	Tcicle (seg)	Nº recursos	1 canvi		3 canvis		5 canvis	
				T dispon. (seg)	corones (uts/dia)	T dispon. (seg)	corones (uts/dia)	T dispon. (seg)	corones (uts/dia)
Nº1 ENTRADA	600	-	-	27.000		25.800		24.600	
Nº2 TALLAR	900	8	1	26.700	3.338	24.900	3.113	23.100	2.888
<b>Nº3 CORBAR *</b>	<b>900</b>	<b>30</b>	<b>1,5</b>	<b>26.700</b>	<b>1.335</b>	<b>24.900</b>	<b>1.245</b>	<b>23.100</b>	<b>1.155</b>
Nº4 SOLDAR	900	10	1	26.700	2.670	24.900	2.490	23.100	2.310
Nº5 TREMPAR	3.600	21.600	10.000	24.000	11.111	16.800	7.778	9.600	4.444
Nº6 Colocar TAPA	600	8	1	27.000	3.375	25.800	3.225	24.600	3.075
Nº7 Soldar TAPA	900	24	3	26.700	3.338	24.900	3.113	23.100	2.888
Nº8 Pintar	1.800	2.400	150	25.800	1.613	22.200	1.388	18.600	1.163
Nº9 Tampografia	900	8	1	26.700	3.338	24.900	3.113	23.100	2.888
Nº10 Empaquetar	600	10	1	27.000	2.700	25.800	2.580	24.600	2.460
Nº11 Expedició	600			27.000		25.800		24.600	

TAULA 16, SIMULACIÓ DE CANVIS D'UTILITATGES AL MODEL INICIAL

La incidència de l'increment de les preparacions sobre la producció resulta crítica si existeixen fases que no arriben a satisfer l'objectiu de producció. En aquest cas existeix el coll d'ampolla de la fase 3, que no arriba a l'objectiu de les 1.500 unitats (30K mensuals) ni en el supòsit d'un sol canvi de referència. A la resta de fases l'augment de canvis de referència no suposarà un impediment per assolir l'objectiu d'unitats mensual, tret de la fase de pintura, encara que aquesta fase treballa amb lots de colors i aquest color de pintura no sol canviar-se durant la jornada més enllà d'un cop o dos.

- Com ja s'ha vist, els lots grans de producció generen inventaris grans de producte que no acaben tenint sortida immediata al mercat. Principalment, dintre de les fases tipus Push, de la 2 a la 7, ja que no s'adapten a la demanda real del client. Inevitablement, aquests lots tan poc adequats a les necessitats del client provoquen sovint trencaments d'estoc al supermercat de la fase 8:
- l'inventari del supermercat s'alimenta de lots grans de corones que es planifiquen en base a l'històric.
- l'inventari del supermercat es consumeix al ritme que marquen les comandes reals entrants de client.

El supermercat treballa esmorteint l'impacte que té el xoc entre la planificació push i la pull. No obstant, la gestió dels trencaments no resulta eficient i existeix un alt percentatge de comandes fora de temps.

#### CRITERIS PRODUCTIUS POC EFICIENTS:

A continuació es resumeixen alguns punts observats a les diverses fases que han merescut ser destacats i als que posteriorment s'intentaran donar una solució més eficient.

#### Tractament d'urgències entre les Fases 2 i 7:

La gestió del supermercat de la fase 8 sovint provoca trencaments d'estoc d'alguna referència. A la fase 8 arriben lots grans de corones produïts per les fases Pull, quantitats que no s'adapten al consum real del client. Els trencaments d'estoc generen ordres de treball urgents a la fase 2 per tal de recuperar l'estoc a la fase 8.

A continuació es mostra, a través de dos diagrames Operació-Temps, un exemple gràfic d'allò que passa en la gestió de les urgències i les seves conseqüències al llarg de les fases.

Al primer diagrama es presenta el comportament al llarg del temps dels lots de les referències A, B i C a les operacions fictícies n, n+1 i n+2.

Es considera que els recursos estan dedicats en exclusiva a aquesta línia. No s'han simulat temps d'espera entre fases, tret dels que són inherents al procés.

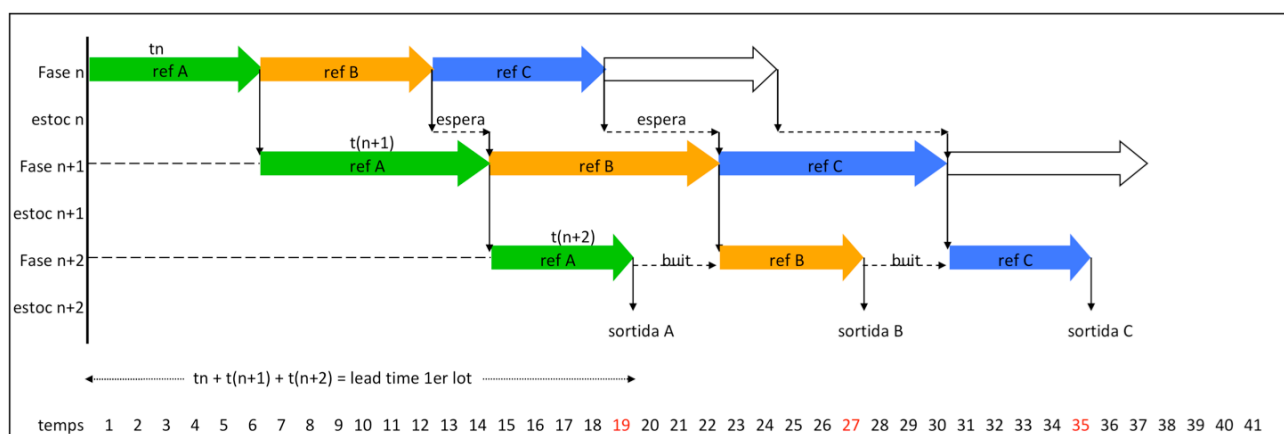
El Lead Time de cada referència depèn únicament de la planificació establerta. Per la referència A, el Lead Time és la suma del temps d'entrega de cada fase, a la simulació resulta ser de 19 unitats de temps. Les següents sortides de material de la línia es donaran amb la diferència de temps equivalent al temps de procés de la fase coll d'ampolla. La sortida de la referència C es dona en 35 unitats de temps.

Aprofitant l'exemple plantejat, es pot observar que la fase n+1 es comporta com a coll d'ampolla, els senyals que ens ho indiquen són:

El temps d'operació per a una referència, representat per la llargada de la fletxa, és més llarg a n+1 que el de les altres dues operacions.

El material generat per la fase anterior s'acumula i genera un estoc n cada cop més gran.

La fase n+2 té períodes sense producció a on el recurs roman a l'espera de l'arribada de nou material.



IMATGE 12, LEAD TIME SENSE URGÈNCIAS

A continuació, el segon diagrama parteix de la mateixa situació de l'exemple plantejat al primer, amb les mateixes característiques, però se li afegeix la simulació de dues urgències de corones de les referències X i Y.

Els lots de les corones urgents es componen de poques corones, només les necessàries per a fer front a la urgència.

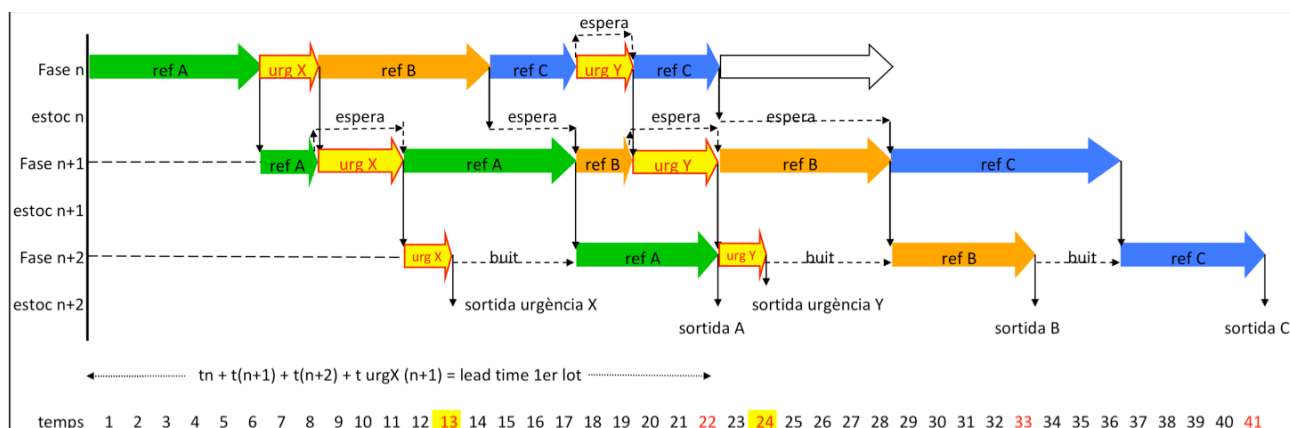
La urgència X endarrereix l'inici de la fase n per la referència B, però la Y inclús trenca en dos lots la fase n de la referència C.

Els efectes sobre la producció que es deriven de la gestió d'urgències es poden resumir en els següents punts:

Afegeix temps extra no planificat a la preparació i la gestió logística.

Increment del lead time sobre la planificació inicial. A l'exemple, la referència A passa de les 19 unitats de temps a 22 i la referència C passa de la unitat 35 a la 41.

Increment de l'inventari entre fases, amb implicacions també al layout i al desordre en la línia.



IMATGE 13, EFECTE DE LES URGÈNCIES DINS DEL LEAD TIME

### Transport a la Fase 5, trempat de l'acer:

Segons l'acord establert amb el proveïdor, l'enviament de material al trempat es realitza només dos cops a la setmana, els dimarts i els dijous. Quan s'envia un al proveïdor es recull l'anterior i es retorna a les instal·lacions. El procés a casa del proveïdor dura sis hores i mitja aproximadament. Amb aquesta política de periodicitat del transport es redueix el transport a l'imprescindible, però implica un augment del Lead Time de la fase, ja que el lot trigarà entre dos i tres dies hàbils en tornar a la fàbrica.

Procés	Nº desplaçaments mensuals	Cost unitari	Cost mensual	Cost anual
Nº1 ENTRADA	0,5	200	100	1.200
Nº2 TALLAR	0	0	0	0
Nº3 CORBAR	0	0	0	0
Nº4 SOLDAR	0	0	0	0
Nº5 TREMPAR	8,66	30	259,8	3.117,6
Nº6 Col·locar TAPA	0	0	0	0
Nº7 Soldar TAPA	0	0	0	0
Nº8 Pintar	0	0	0	0
Nº9 Tampografia	0	0	0	0
Nº10 Empaquetar	0	0	0	0
Nº11 Expedició	20	20	400	4.800
TOTALS			759,8	9.117,6

TAULA 17, COSTOS DEL TRANSPORT EXTERN A L'ESTAT INICIAL

### Cas concret del Picking ineficient a la Fase 8:

Entre les tasques corresponents a la preparació dels lots de la fase 8 està la realització del Picking de les corones de l'estoc del supermercat. Es tracta d'un magatzem del tipus *caòtic* (a on no hi ha un espai fixe per a cada referència) i no està gestionat de manera automàtica. Sí que es realitza un registre informàtic de les altes i les baixes del magatzem però aquest registre es fa de manera manual i només un cop al final de la jornada. Resulta habitual que l'estoc real existent no coincideixi amb el del sistema.

L'operari selecciona el material en base a l'ordre d'entrega de les comandes de client que configuren el lot de producció (una o diverses comandes que tenen en comú el color de la pintura).

No existeix un sistema informatitzat robust que pugui creuar fefaentment el material de les comandes amb el de l'inventari real del supermercat. De manera que quan l'operari comença a preparar una comanda "A", inicia el picking sense saber prèviament si hi haurà prou unitats de cada referència al supermercat com per a completar-la. Si no hi ha prou unitats, informa a planificació de la producció per a emetre una ordre de treball urgent, i la comanda "A" es reserva a una banda de la línia fins que arribin al supermercat les unitats que

manquen per completar-la. Aleshores, l'operari comença a realitzar el Picking de la comanda "B", aplicant el mateix criteri, i així successivament fins que s'aconsegueix reunir el material per a pintar un lot.

D'aquesta manera, sovint es troben moltes comandes aturades a la fase 8, la qual cosa suposa un indesitjable augment de l'inventari, del lead time, del temps de preparació, del temps logístic i del desordre a la secció de pintura. A més, es pot observar paral·lelament que, pot haver material reservat per la comanda "A" que podria ajudar a completar la comanda "B" o viceversa.

A l'apartat de solucions proposades es formula una alternativa possible per a fer el Picking més adequat a la producció de la línia.

#### **Solució proposada pel Picking a la Fase 8:**

Més endavant es dedica un capítol a tractar l'adopció d'una gestió Kanban per a l'estoc tipus supermercat de la fase 8. No obstant, en el present apartat es presenta el nou criteri per a fer el Picking de corones en la preparació de la comanda. L'objectiu és eliminar les ineficiències que es donen en aquesta tasca.

Gràcies a la gestió Kanban es racionalitza el supermercat: es redueix la quantitat de l'inventari, s'incrementa l'ordre i es controla de manera més eficaç l'estoc de cada referència. En aquest nou escenari resulta més senzill aplicar uns pocs criteris de fàcil implantació que afecten a la planificació de la línia:

- Es segueix estrictament la planificació marcada per les dates d'entrega de la cartera de comandes.
- Només s'inicien aquelles comandes que es puguin satisfer al 80% o més.
- La nova ordenació permet un fàcil control visual de l'estoc de corones.
- Els clients, que són la majoria habituals, disculpen endarreriments moderats en l'altre 20% de les comandes. Tot i que amb la gestió TOC de la línia està previst que el nombre de corones fora de temps disminueixi.
- Si no s'arriba al 80% no es reserva el material. I es gestiona l'ordre de treball corresponent amb caràcter urgent.
- El lot d'un color s'escurçarà si és necessari iniciar un lot d'un altre color (la data d'entrega és el criteri que preval). S'estableix una mida de lot màxim d'un mateix color: una jornada. Si passada una jornada pintant d'un color resulta necessari iniciar un lot d'un altre color aquest es canvia. L'objectiu és evitar el temps d'aturada per canvi de color, però dins d'un límit que permeti la flexibilitat de la producció. Val a dir que, cada jornada s'ha de netejar l'equip de pintura, de manera que s'aprofita aquesta parada obligatòria per a fer el canvi de lot en cas necessari.

Aquests criteris són d'aplicació a tots i cadascun dels models presentats en el present projecte. Es complementa amb la resta de solucions plantejades. Per aquest motiu s'ha estimat més oportú esposar-ho en aquest apartat apart.

L'aplicació d'aquests criteris impliquen directament:

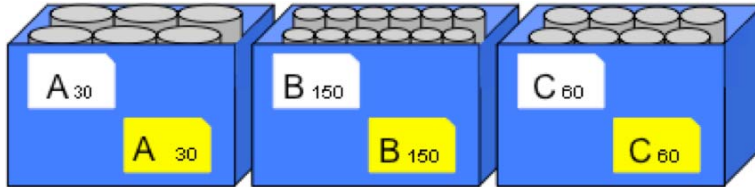
- menor temps en la preparació de comandes a la fase 8,
- menor despesa logística,
- major ordenació en planta,
- una planificació de la producció més eficient.

Un cop pintat el lot, el material ha de fluir per les fases següents fins a la seva expedició. Només hauria d'aturar-se el temps mínim que marquin els pulmons de material.

## 8.5.APLICACIÓ DE LA GESTIÓ KANBAN DEL SUPERMERCAT DE LA FASE 8

S'adopta un sistema Kanban per a la gestió de l'estoc del tipus supermercat que alimenta la Fase 8:  
En quant a l'inventari i la disposició del supermercat, s'implementen algunes modificacions:

- El material passa a endreçar-se en uns nous contenidors que permeten un emmagatzematge més còmode, més visual i sensiblement menys voluminós.
- Es fixen als contenidors les targes Kanban de producció amb indicadors d'estocs mínims basats en el consum històric de cada referència. Aquests límits es revisen i corregeixen periòdicament des de la planificació de la producció amb les tendències del mercat.



IMATGE 14, SIMULACIÓ TARGES ALS CONTENIDORS DE CORONES DEL SUPERMERCAT

En quant a la gestió, es tracta d'un Kanban del *tipus producció* que s'estableix entre la fase 8, receptora del material, i la fase que produirà el material. Més endavant es comprovarà que aquesta fase pot ser una o altra depenent del model dissenyat. Segons això, el senyal del Kanban de la fase 8 té efecte directe sobre les ordres de producció de les fases aigües amunt en la línia de producció.

En el moment que l'operari de la fase 8 realitza el Picking de corones y agafa les darreres unitats d'un contenidor, retira la tarja Kanban del contenidor i la fa arribar a la safata de producció de la fase emissora del material. La decisió sobre quina fase serà l'emissora del material depèn sempre de la configuració de la línia de producció. En posteriors capítols es tracten diferents models d'implantació del Kanban, a on les fases emissores de material són, o bé la 2, o bé la 5.

La comunicació del Kanban es realitza, doncs, a través de la pròpia tarja física, que actua com a una ordre de treball a on s'indica el tipus concret de la corona i el número d'unitats que s'han de produir.

Entre els avantatges que aquest sistema aporta destaquen:

- Una important reducció de l'inventari del supermercat.
- Una producció ajustada a les necessitats reals del mercat. Només es produeix allò que està venut.
- Una gestió senzilla del flux productiu comprensible per tot els operaris, els quals participen de les responsabilitats en la planificació.



## 8.6.APLICACIÓ PROGRAMA DE POLIVALÈNCIA DEL PERSONAL

L'aplicació de la Teoria de les Limitacions (TOC) permet identificar el coll d'ampolla de la línia productiva, al igual que s'identifiquen i es quantifiquen la resta dels recursos amb capacitat sobrant.

Això permet preveure i programar la producció en funció d'aquests temps d'ocupació. Els operaris d'aquestes seccions es destinaran a altres seccions un cop aconsegueixin amb l'objectiu diari. Cada unitat produïda de més per un recurs no coll d'ampolla implica un malbaratament per sobreproducció.

Fase productiva	Capacitat producció diària	Capacitat producció mensual	Ocupació prevista	Característica de la fase	
Nº1 ENTRADA	-	-	-	-	
Nº2 TALLAR	2.887	57.740	52,0%	Sobre capacitat	Prestarà ajut a altres fases
Nº3 CORBAR	1.500	30.000	100%	externalitzada	-
Nº4 SOLDAR	1.500	30.000	100%	externalitzada	-
Nº5 TREMPAR	12.777	255.540	11,7%	externalitzada	-
Nº6 Col·locar TAPA	2.850	57.000	52,6%	Treball en continu per a un sol operari	Prestarà ajut a altres fases
Nº7 Soldar TAPA	3.450	69.000	43,5%		Prestarà ajut a altres fases
Nº8 Pintar	1.575	31.500	95,2%	A prop del límit	Rebrà ajut
Nº9 Tampografia	3.450	69.000	43,5%	Treball en continu per a dos operaris	Prestarà ajut a altres fases
Nº10 Empaquetar	2.280	45.600	65,8%		Prestarà ajut a altres fases
Nº11 Expedició	10.000	200.000	15,0%	15,0%	

TAULA 18, CAPACITAT DE PRESTAR OPERARIS A ALTRES FASES I SECCIONS

Per aquest motiu, es treballa per assolir la màxima eficiència també en l'ús del temps dels operaris. En aquest sentit, cobra especial importància el fet de garantir la formació dels operaris en la resta de fases de manera estratègica. El flux d'operaris, doncs, anirà previsiblement d'aquelles seccions o fases amb un índex d'ocupació més baix cap al coll d'ampolla o cap a aquelles fases amb un índex més alt.

En base a aquest propòsit s'instaura un programa de polivalència dirigit als operaris. Cadascuna de les fases es descomponen en tasques bàsiques i s'elabora un programa de formació segons les característiques del lloc i les capacitats de cada operari. Aquest programa de capacitat pot ser representat en forma de taula a través de l'anomenada *Matriu de Polivalència*.

La matriu estableix un mapa clar de qui sap fer què, quines àrees estan més cobertes que d'altres i quina és la previsió temporal en formar als operaris.

## **8.7.APLICACIÓ DE LA TEORIA DE LES LIMITACIONS A LA LÍNIA DE CORONES**

### **8.7.1. TRES ESCENARIS PRODUCTIUS DE FUTUR POSSIBLES:**

A continuació es presenta el desenvolupament pràctic de la metodologia definida per la TOC dins de la línia de producció de corones. Partint de la situació inicial de la línia exposada anteriorment, s'han obert diferents hipòtesis de treball per a millorar el procés. A les properes pàgines es presenten tres possibles escenaris de futur a on es podran analitzar i estudiar llurs pros i contres:

- A. Externalització de la producció a un proveïdor de l'Àsia,
- B. Externalització de la producció a un proveïdor de la província,
- C. Producció pròpia dins de la línia,

En la presa de decisió sobre quin resultarà més idoni tindrà molt de pes el factor de l'impacte en els costos, però no serà l'únic.

#### **8.7.1.1. EXTERNALITZACIÓ A UN PROVEÏDOR DE L'ÀSIA**

A continuació s'apliquen els cinc criteris definits per la Teoria de les Limitacions per tal de donar resposta a la millora de la línia a través de l'externalització a un proveïdor asiàtic de les fases productives 3 i 4. L'objectiu d'aquest model és assolir una major capacitat de la línia.

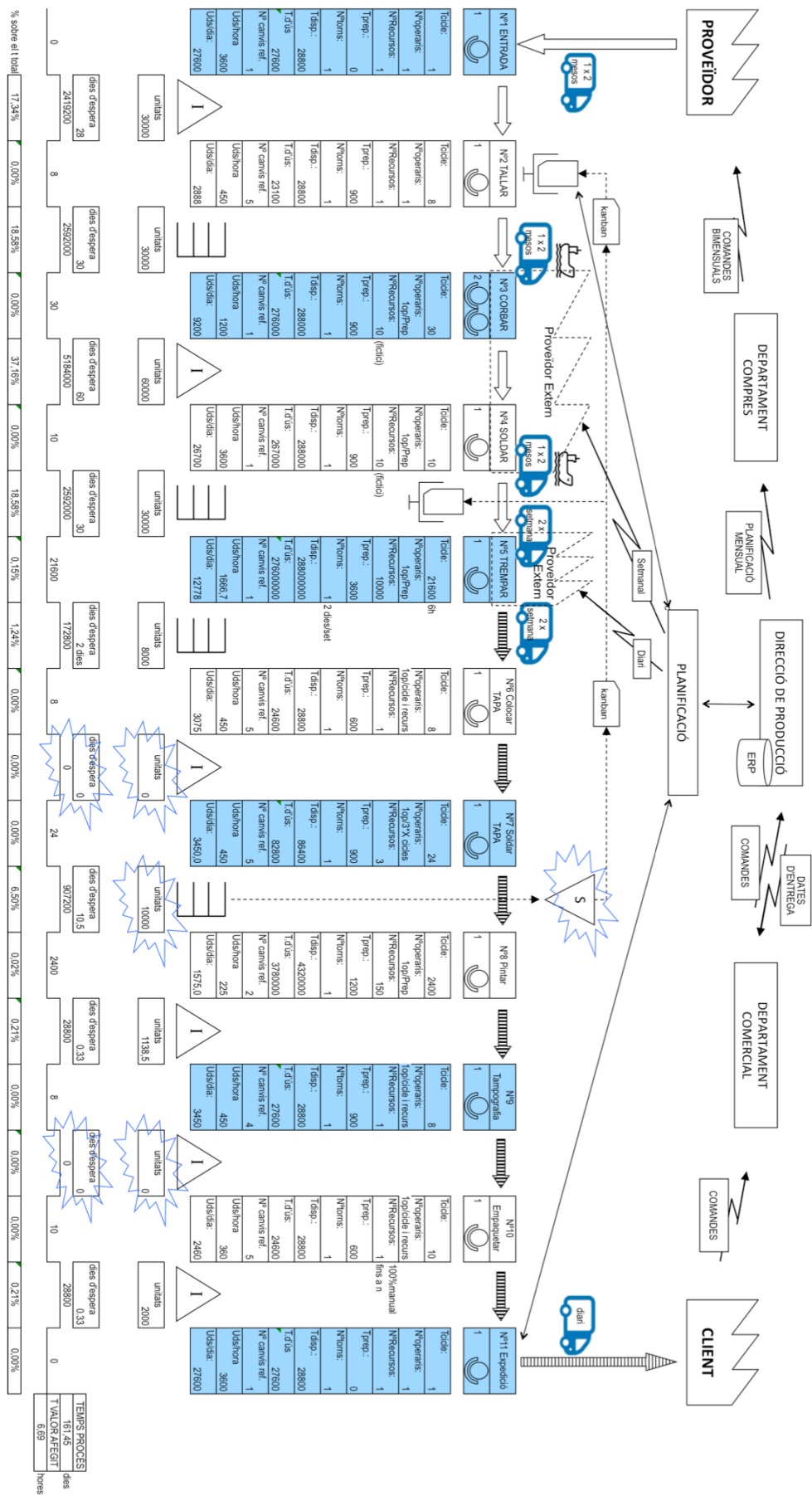
##### **1) IDENTIFICACIÓ DEL COLL D'AMPOLLA:**

La definició del coll d'ampolla ja ha quedat resolta anteriorment a l'estudi de la situació inicial: el coll d'ampolla del procés és la fase 3, la fase de corbar el fleix.

##### **2) DECISIÓ SOBRE COM EXPLOTAR EL COLL D'AMPOLLA:**

La producció de la fase 3 passa a realitzar-se a l'Àsia mitjançant un proveïdor extern. La fase 4 també s'externalitza, donat que el proveïdor fa una oferta conjunta força atractiva.

Totes les implicacions d'aquest model es mostren a la representació que ofereix el Value Stream Map que es presenta a continuació.



IMATGE 15, VSM PER CORONES MODEL A -EXTERNALITZACIÓ A L'ÀSIA

## INDICADORS DEL VISUAL STREAM MAP

De l'esquema del VSM s'extrauen dades importants que aporten una quantificació objectiva de l'eficiència del model proposat. Els indicadors més interessants estan representats a la següent taula:

Indicador	Externalització Àsia	Situació inicial	Diferència final-inicial
Temps d'entrega o Lead Time (dies)	161,45	79,61	+81,83
Temps total de creació de valor (hores)	6,69	6,69	0
Inventari de corones a la línia (WIP) (unitats/mes)	171.138	82.900	+88.238

TAULA 19, INDICADORS VSM DE L'EXTERNALITZACIÓ ÀSIA

El temps d'entrega o Lead Time es dobla degut a que se sumen els temps de preparació del lot a enviar, el del transport i el del processat a l'Àsia.

També s'ha de tenir en compte que 28 dies, un 17,4% del Lead Time, és el temps que el material està de mitjana al magatzem de matèria primera. La política de compres obliga a tancar preus del metall a molt llarg termini per tal de poder assolir un preu més econòmic. Per aquest mateix motiu, les entregues del proveïdor també tenen una periodicitat molt baixa. Això provoca que la provisió de fleix es faci un cop cada dos mesos. A freqüència més baixa, quantitat més elevada, i també mitjana de temps d'espera més elevada al magatzem de matèria primera. La millora d'aquest punt referent als terminis de compres és un tema que no es treballa en el present treball.

Per al càlcul del temps total de creació de valor, a les fases 3 i 4 s'han mantingut els mateixos temps de cicle de la situació inicial, degut a que no es coneixen els temps reals que apliquen al proveïdor asiàtic.

La quantitat d'inventari o *WIP* (de l'anglès "*work in progress*") s'incrementa de forma notòria fins a més del doble d'unitats més en aquest model. Malgrat que a les fases processades en la planta s'aconsegueix una reducció de l'inventari, en el còmput global de la línia pesa molt el gran enviament que s'ha de fer arribar a l'Àsia.

### ANÀLISI FASE A FASE

A continuació s'analitzen les característiques que defineixen a cadascuna de les fases del procés productiu en aquest model:

Fase 1, entrada matèria primera: en aquest model no es produeixen variacions degut a que la gestió de compres queda fora de l'abast del present projecte.

- Planificació del tipus Push basada en l'històric de comandes.
- Es rep material del proveïdor (fleix i tapes) amb periodicitat bimensual.
- Es dona d'alta al sistema informàtic i s'emmagatzema a l'àrea de matèria primera.
- Genera un magatzem de matèries primeres amb una rotació de l'estoc molt baixa i un temps d'espera molt elevat que fa créixer el lead time fins als 28 dies.

Fase 2, tall: En aquesta fase arrenca la transformació del material.

- El material s'agafa del magatzem de matèria primera.
- S'assumeix una doble planificació degut a les urgències gestionades pel sistema Kanban:
  1. Planificació del tipus Push basada en l'històric de comandes per a la preparació del lot per enviar a l'Àsia:
    - L'enviament del material a l'Àsia obliga a definir paràmetres com el punt de comanda o la mida de lot òptim, els terminis d'entrega la freqüència, etc. La planificació de la producció ha de preveure les comandes a dos mesos vista. Es basa en l'històric de comandes, però és molt difícil ajustar la previsió i sovint es produeixen trencaments d'inventari.
    - Es realitzen lots grans per a cada referència. Es calcula que cada lot equival a la producció prevista per a dos mesos. Si la producció s'estima en unes 20K unitats al mes, multiplicat per dos comporta la creació d'un lot de 40K unitats per enviar a l'Àsia.
  - Cada canvi de referència resta temps de producció, pel que s'interpreta com un malbaratament de temps i consegüentment s'intenten reduir al mínim possible.
- El material generat forma un estoc de material que s'encaixa i es paletitza per ser enviat a l'Àsia.
  2. Planificació del tipus Pull basada en els senyals Kanban de producció que es reben. Són senyals generats per la fase 8 i que la fase 5 rep i "rebota" aigües amunt, quan a la 5 tampoc es disposa del material:
- Aquestes ordres de treball originades pel Kanban a la fase 8 es tracten com a urgències del sistema.

- Es produeixen a la fase 2 amb ordenació FIFO i es respecten escrupolosament les quantitats a produir i els terminis fixats.
- Els canvis de referència són necessàriament nombrosos per a adaptar-se a la producció demandada.
- El material generat passa a la següent fase de producció a Barcelona.

Fase 3, corbar: aquesta fase, com ja s'endevina al punt anterior, no desapareix de la línia, sinó que cal mantenir-la per tal d'atendre totes aquelles urgències que no puguin esperar per l'arribada de les peces de l'Àsia. Tornem a tenir, doncs, dues possibilitats en el nostre procés:

1. Les corones amb planificació Push que viatgen a l'Àsia:
  - Un cop configurat l'enviament es transporta per terra i mar amb camió i vaixell. Això implica 2 setmanes de viatge d'anada, que allarguen el Lead Time total.
  - Es realitza a l'Àsia per una empresa proveïdora amb la que es signa un contracte de Qualitat Concertada.
2. Les corones amb planificació Pull, gestionada pel Kanban, que es tracten a la planta:
  - Com aquesta fase només produeix urgències no està dedicada el 100% del seu temps, pel que no es comportarà com a col d'ampolla.
  - Comparteix Temps de Cicle, Temps de preparació i capacitat amb a la situació inicial.

Fase 4, soldar cos: com els processos anteriors, aquest presenta dues possibilitats:

1. Les corones amb planificació Push que viatgen a l'Àsia:
  - Es realitza a l'Àsia juntament amb la fase 3 per la mateixa empresa proveïdora. Es tracta tot el lot de producció sencer, no hi ha entregues parcials.
  - Un cop acabada aquesta fase es transporta amb vaixell i amb camió. Implica altres 2 setmanes de viatge de tornada, sumant molts dies al Lead Time total.
  - El material arriba a Barcelona encaixat i paletitzat i conforma un gran estoc de 40K unitats de totes les referències. Les corones de diàmetres més petits van dins de les altres. Es tracta d'un estoc de tipus supermercat.
2. Les corones amb planificació Pull, gestionada pel Kanban, que es realitzen a la planta:
  - Comparteix Temps de Cicle, Temps de preparació i Capacitat amb a la situació inicial.
  - En aquest punt s'incorpora una possibilitat interessant:
  - L'estació s'adapta per tal de crear un lloc de treball a on l'operari realitza dues fases a la vegada, la 4 i la 6, en comptes d'una sola.
  - Mentre el robot de soldadura solda una peça de la fase 4 l'operari posa una tapa de la fase 6.
  - No es tracta d'un flux en continu sinó d'una cel·la productiva que realitza dues fases a la vegada, ja que entre la 4 i la 6 s'ha de realitzar la fase 5.
  - Es tracta de dos lots diferents que correspondran a diàmetres diferents, ja que hi ha dues fases de diferència.
  - El temps de cicle de la fase 4 permet encabir l'operació de la fase 6 dins del seu propi temps de màquina<sup>2</sup>. Per tal de fer-ho la fase 6 s'haurà de descompondre en dos i usar dos cicles de la fase 4.

Fase 5, trempat de l'acer: el procés es continua realitzant en el mateix proveïdor extern del model inicial i també es fan dos enviaments setmanals, existeix però, algun canvi respecte a la gestió dels lots:

- Planificació del tipus Pull basada en la gestió Kanban de la fase 8. Les targes del Kanban de producció indiquen quina referència s'ha de produir i quantes unitats.
- El material prové de dos fonts:
- tant de l'estoc arribat de l'Àsia, compostat per un supermercat de fins a 40K corones a consumir durant 2 mesos,
- com de les urgències gestionades pel Kanban, les quals contrasten perquè són lots petits de corones amb una comanda ja assignada.
- La capacitat del proveïdor del tremp es pot considerar il·limitada perquè és molt gran. Al model numèric del VSM s'ha representat una capacitat elevada introduint un número fictici de recursos molt elevat (en aquest cas 10K). El limitant de la línia serà sempre la capacitat interna de generar el lot i de gestionar l'enviament.
- El lot que s'envia al proveïdor del trempat d'acer es compona de corones de diversos diàmetres. Això té implicacions en la preparació, en la mida i en la configuració del lot. El procés de trempat d'acer també es

---

<sup>2</sup> Aquest punt es desenvolupa més extensament més endavant.

realitza amb les corones petites dins de les més grans per tal d'optimitzar l'espai. Donat això, ens trobem amb dues opcions per a realitzar les tasques de preparació dels lots de la fase del tremp:

- Opció 1 – Separar les corones del lot ordenades concèntricament i col·locar-les al magatzem ordenades per tipus de corones. Això comporta, en síntesi:

Tasca	Descripció	Comentari
1- estoc	Emmagatzematge de caixes segons ordre del lot arribat de l'Àsia.	Arriben les corones en caixes a on hi ha corones de diversos tipus ordenades segons mida i concèntricament. Per exemple, arriba la caixa <b>n</b> amb 10 unitats de les referències <b>A, B i C</b> ; i la caixa <b>m</b> amb 10 unitats de <b>D, E i F</b> .
2- separació	Separació de corones i emmagatzematge als contenidors de l'estanteria segons tipus de corona.	Les corones s'agrupen segons la referència, de manera que al magatzem trobem un contenidor per a cadascun dels tipus: <b>A, B, C, D, E i F</b> .
3- preparació ordre de treball	Selecció de corones que configuren l'ordre de treball per a enviar al tremp.	Si l'ordre de treball, p. ex., apunta 150 corones dels tipus <b>A i E</b> , aleshores es composarà un lot per al tremp amb les corones <b>A i E</b> en ordre concèntric (si és possible).
4- tremp del material	Enviament, realització del tremp a les instal·lacions del proveïdor i retorn del material.	Es trempa el lot compostat per <b>A i E</b> .
5- recepció del lot	Es rep el lot i se separen les referències i s'emmagatzema cada corona en el seu contenidor.	Al magatzem es separen segons les respectives caixes de les referències <b>A i E</b> preparades per ser usades per la fase 6 segons l'ordre que s'estableixi.

- Opció 2 – Mantenir l'ordenació concèntrica dels lots arribats de l'Àsia i ordenar en tornar del tremp. Les tasques varien respecte l'anterior taula:

Tasca	Descripció	Comentari
1 estoc	Emmagatzematge de caixes segons ordre del lot arribat de l'Àsia.	Arriben les corones en caixes a on hi ha corones de diversos tipus ordenades segons mida i concèntricament. Per exemple, arriba la caixa <b>n</b> amb 10 unitats de les referències <b>A, B i C</b> ; i la caixa <b>m</b> amb 10 unitats de <b>D, E i F</b> .
2 separació	No aplica.	No se separen.
3 preparació ordre de treball	Selecció de corones que configuren l'ordre de treball per a enviar al tremp.	Si l'ordre de treball, p. ex., apunta 150 corones dels tipus <b>A i E</b> , es composarà un lot per al tremp amb 150 corones <b>A, B, C, D, E i F</b> en ordre concèntric idèntic al que arriba de l'Àsia.
4 tremp del material	Enviament, realització del tremp a les instal·lacions del proveïdor i retorn del material.	Es trempa el lot compostat per <b>A, B, C, D, E i F</b> .
5 recepció del lot	Es rep el lot i se separen les referències i s'emmagatzema cada corona en el seu contenidor.	Al magatzem es separen segons les respectives caixes de les referències <b>A, B, C, D, E i F</b> preparades per ser usades per la fase 6 segons l'ordre que s'estableixi al Kanban.

Resulta més aconsellable la segona opció donat que s'obté l'estalvi de la tasca número 2 d'ordenació i el seu respectiu espai d'emmagatzematge. És cert que les referències **B, C, D i F** no estaven a l'ordre de treball però, com la fase 5 té capacitat molt elevada, s'avança el seu trempat juntament amb les corones d'**A i E**. De totes maneres, tard o d'hora han de trempar-se totes les corones i les corones no prioritàries poden esperar, bé sigui en la fase 5 o la 6.

- Es fan dos enviaments setmanals, com a la situació inicial. No obstant, en aquest model el lot es va a recollir a l'endemà. Així es dupliquen els viatges del transport, però es redueix el temps de procés en una jornada i es guanya en flexibilitat.
- Les corones que arriben del trempat de l'acer s'ordenen per diàmetres i es conforma un estoc que alimenta la fase següent.

Fase 6, col·locar tapa: aquesta fase passa a realitzar-se conjuntament amb la fase 4 i/o en continu amb la fase número 7.

- Planificació del tipus Pull basada en la gestió Kanban de la fase 8.
- Cal fer el Picking de les dues peces necessàries en aquesta fase. Les corones es troben a l'estoc generat per la fase anterior. Les tapes s'agafen de l'estoc de matèria primera.
- Cada lot de producció es compon per un sol diàmetre de corones.
- La quantitat de lot es fixa segons la necessitat del Kanban que gestiona el supermercat de la fase 8.
- Depenent de la disponibilitat d'operaris, aquesta fase passa a realitzar-se:
  - o bé dins del temps de cicle de la fase 4; l'operari posa la tapa mentre el robot traça el cordó de soldadura.
  - o bé en flux de producció continu amb la fase 7. L'operari col·loca la tapa a la corona i la unitat es desa directament a l'alimentador del la cèl·lula robotitzada de la fase 7.
- D'aquesta manera, no es genera cap inventari entremig i es redueix l'inventari entre fases de prop de 3.000 unitats. Només es trobaran aquella petita quantitat del lot avançada per la fase 4.

	Unitats Estat inicial	Unitats model Àsia
Inventari producte en curs de la fase 7	3.000	< 200

TAULA 20, COMPARATIVA UNITATS ESTOC FASE 7 ENTRE MODEL ACTUAL I ESTAT INICIAL

Fase 7, soldar tapa:

- Planificació del tipus Pull basada en la gestió Kanban de la fase 8.
- Aquesta fase treballa en continu juntament amb l'anterior. El material no ve de cap inventari entremig.
- Cada lot de producció es compon per un sol diàmetre de corones.
- El material processat alimenta el supermercat de la fase 8.

Fase 8, pintar: el material sol·licitat per la gestió Kanban arriba a la fase que el va sol·licitar, de manera que l'operari retorna la tarja al contenidor en el moment de donar-lo d'alta al supermercat.

- Planificació del tipus Pull basada en les comandes formalitzades del client.
- El material es retira de l'estoc tipus supermercat<sup>3</sup>. S'adapta a una gestió Kanban que controla la retirada del material. Les targes Kanban s'envien a fase 5. La dimensió del supermercat es fixa a través de la definició de les dades del Kanban, que es basa en l'històric de comandes i es realimenta amb la cartera real de comandes.
- La diferència amb l'estat inicial no és només quantitativa (5.000 unitats, 33% menys), sinó també qualitativa: les unitats estan ara controlades per una gestió Kanban. Val a dir que amb el pas del temps i l'adquisició d'experiència en el sistema aquest volum ha de continuar baixant progressivament.

	Unitats Estat inicial	Unitats model Àsia
Inventari supermercat de la fase 8	15.000	10.000

TAULA 21, COMPARATIVA UNITATS ESTOC FASE 7 ENTRE MODEL ACTUAL I ESTAT INICIAL

- Un lot es compon per una comanda de client, o per més d'una en el cas que comparteixin el color (ja sigui el mateix client o un altre), sempre que tinguin dates d'entrega molt properes.
- El material processat passa al pulmó de la fase 9.

Fase 9, tampografia: possibilitat de treballar en flux continu amb la fase 10.

- Planificació del tipus Pull basada en les comandes del client.
- El material ve donat de la fase 8 a través d'un pulmó de material.
- El lot es compon per una comanda o per més d'una si comparteixen el disseny del tampó, és a dir, si es tracta del mateix client, sempre que tinguin dates d'entrega molt properes.
- Aquí, planificació de producció pot decidir entre dues opcions, depenent dels recursos existents a la línia en el torn (recordem que també són recursos compartits amb altres línies):
- Si hi ha personal disponible a la fase 10, es treballa en flux continu de material i l'operari de la fase 10 rep directament el material.
- Si no hi ha personal disponible a la fase 10, el material processat passa al pulmó de material de la fase 10.

<sup>3</sup> Més endavant s'explica com varia la manera de fer el *picking* en aquest model.

Fase 10, empaquetar:

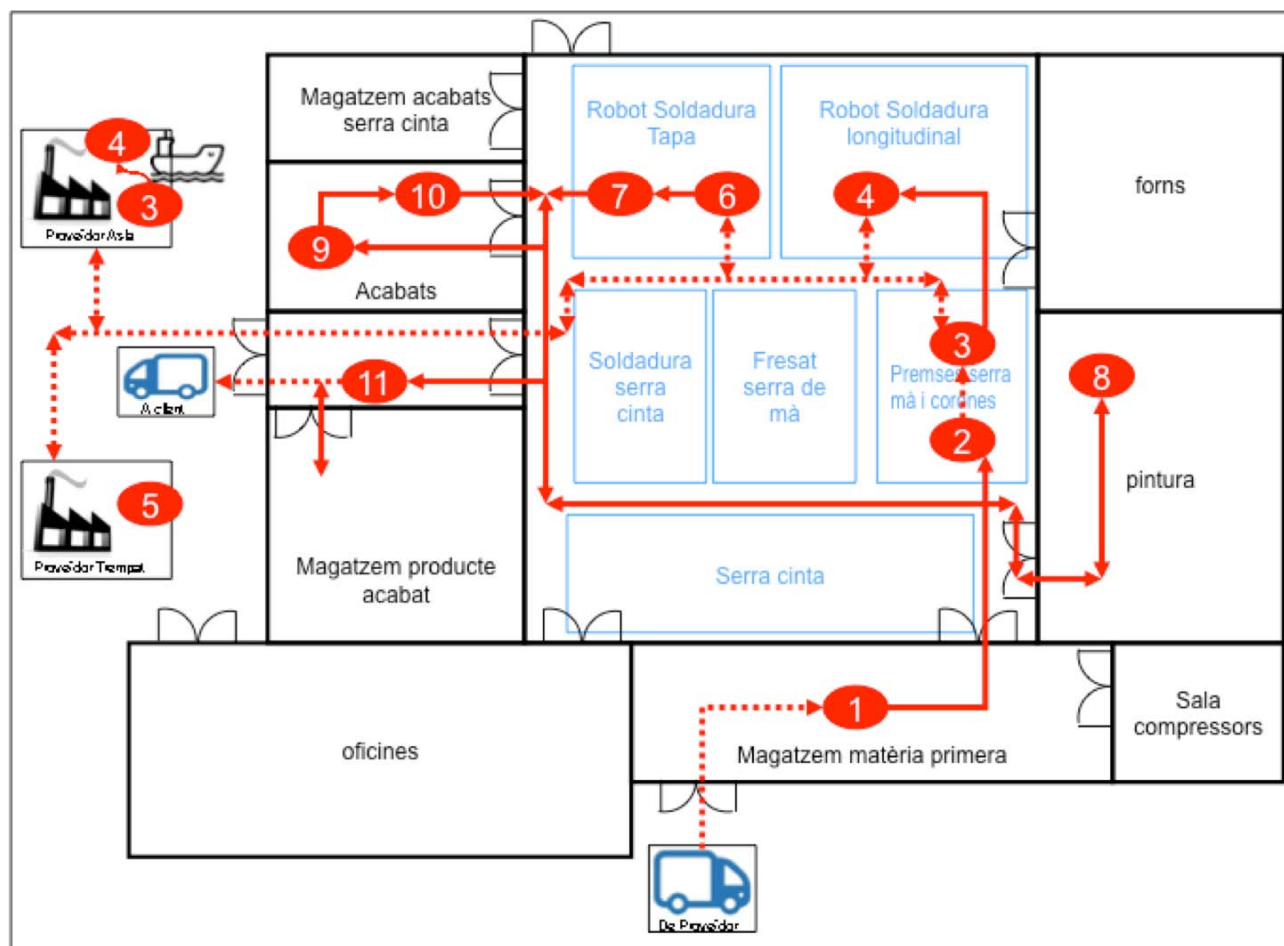
- Planificació del tipus Pull basada en les comandes del client.
- Com s'ha comentat a la fase anterior, planificació de producció pot decidir entre dues opcions, depenent dels recursos existents a la línia en el torn (recordem que són recursos compartits amb altres línies):
- Si hi ha personal disponible a la fase 9, es treballa en flux continu de material i l'operari de la fase 10 rep directament el material.
- Si no hi ha personal disponible a la fase 9, el material arriba a la fase 10 a través del pulmó que la fase 9 hagi creat en un torn anterior.
- El lot es compon per una comanda concreta d'un client, o poden ser diverses si és el mateix client.
- El material processat passa al magatzem de producte acabat o àrea d'expedicions.

Fase 11, expedició producte acabat:

- Planificació del tipus Pull basada en les comandes del client.
- Es donen les sortides de les comandes a través dels transports programats.

#### LAYOUT DE LA PLANTA

Aquest model implica algunes modificacions al layout de planta respecte del model inicial. No es produeix cap trasllat de maquinària significatiu, tret de l'adaptació de les cel·les 4 i 7 per a incloure la taula per posar tapes de corones de la fase 6.



IMATGE 16, LAYOUT DE PLANTA MODEL ÀSIA

La diferència més important ve marcada per l'externalització de les fases 3 i 4 a l'Àsia. Cada dos mesos s'exporten 60K corones (en estat de fase 2) i s'importen altres 60K (en estat de fase 4). Això implica espai d'emmagatzematge, que envaeix part de l'espai de les seccions productives, donat que la zona d'expedicions no és suficientment gran. Implica igualment la realització de tots els transports interns necessaris per ubicar el producte i gestionar la seva sortida i entrada de la nau.



Com ja s'ha comentat, existeix part de la producció de les fases 3 i 4 que encara es manté a dins de línia, per tal de garantir la producció dins de termini de les corones que esdevenen urgents. Pel que es mantindran operatives les cel·les 3 i 4 i les respectives zones d'estoc.

De l'estudi de les distàncies recorregudes pel material a dins de la planta resulta la taula següent, a on es poden extraure algunes dades de l'eficiència del layout:

Procés	Nº desplaçaments diaris	Distància entre fases (metres)	Distància diària (metres)	Distància mensual (metres)
Nº1 ENTRADA	0,5	10	5	100
Nº2 TALLAR	2	35	70	1.400
Nº3 CORBAR	0,125	65	8,125	162,5
Nº4 SOLDAR	0,125	65	8,125	162,5
Nº5 TREMPAR	2	90	180	3.600
Nº6 Colocar TAPA	2	10	20	400
Nº7 Soldar TAPA	2	4	8	160
Nº8 Pintar	2	130	260	5.200
Nº9 Tampografia	2	4	8	160
Nº10 Empaquetar	2	32	64	1.280
Nº11 Expedició	2	10	20	400
<b>TOTALS</b>	<b>16,75</b>	<b>455</b>	<b>651,25</b>	<b>13.025</b>

TAULA 22, TRANSPORTS INTERNS MODEL ASIÀTIC

De l'anàlisi dels recorreguts interns a la planta s'extreu que, respecte als recorreguts de l'estat inicial, la distància total es redueix un 10%.

Si es considera una velocitat de 2 Km/hora d'un operari transportant corones entre els punts d'inventari i un cost hora de 10€, resulten 6,51 hores/mes de treball amb un cost estimat de 65,1 €/mes.

El principal estalvi en desplaçaments surt de les fases 3 i 4 degut a que es passa d'una gestió de magatzem diària a una amb menys moviments, dedicada a preparar el material pel viatge a l'Àsia. La producció de lots grans per a l'Àsia comporta que es conformin palets sencers de material amb una rotació més baixa que els lots més petits de la producció de l'estat inicial.

De manera idèntica als interns, analitzant els recorreguts externs a la planta, s'extrau informació sobre l'eficiència i costos de producció:

Procés	Nº desplaçaments mensuals	Cost unitari	Cost mensual	Cost anual
Nº1 ENTRADA	0,5	200	100	1.200
Nº2 TALLAR	0	0	0	0
Nº3 CORBAR	0,5	1.500	750	9.000
Nº4 SOLDAR	0,5	1.500	750	9.000
Nº5 TREMPAR	17,33	30	519,9	6.238,8
Nº6 Col·locar TAPA	0	0	0	0
Nº7 Soldar TAPA	0	0	0	0
Nº8 Pintar	0	0	0	0
Nº9 Tampografia	0	0	0	0
Nº10 Empaquetar	0	0	0	0
Nº11 Expedició	20	20	400	4.800
<b>TOTALS</b>			<b>4.019,9</b>	<b>30.238,8</b>

TAULA 23, TRANSPORTS EXTERNS DE MATERIAL MODEL EXTERNALITZACIÓ A L'ÀSIA

El cost del transport extern és més del triple del contemplat a l'estat inicial. L'increment està protagonitzat pel cost del transport a l'Àsia, amb una mitjana d'un viatge cada mes (anada o tornada). També cal comentar que els viatges al proveïdor del tremp passen a ser el doble, ja que en aquest model es retorna el material del trempat a l'endemà, en comptes d'esperar al següent dia d'entrega. La resta de fases no presenta variacions.

### 3. SUBORDINACIÓ DE TOT A LA DECISIÓ ANTERIOR:

A continuació es recullen les accions que es prenen per a procurar que la fase 3 no s'aturi.

GESTIÓ DE LA PRODUCCIÓ SEGONS EL MODEL TOC: DRUM, BUFFER, ROPE.

La gestió de la producció a través del model de la Teoria de les Limitacions proposa la definició dels tres elements següents:

#### **Drum:**

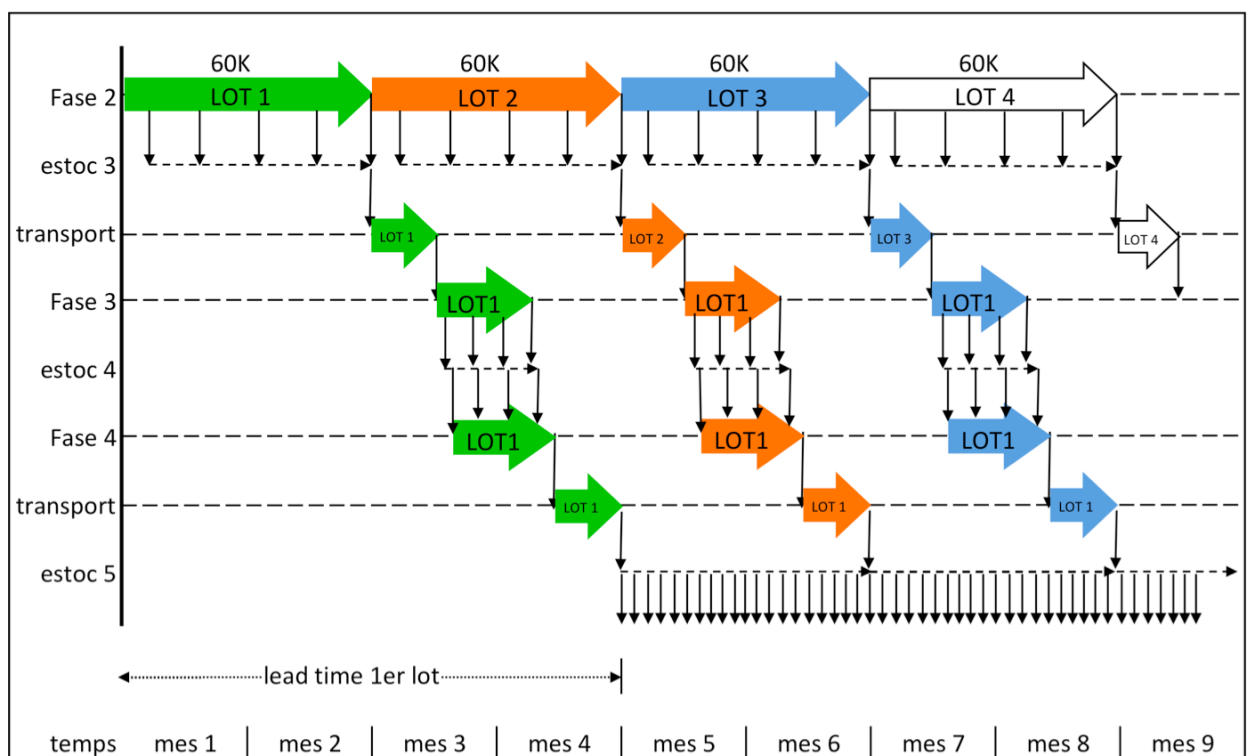
El *tambor* que marca el ritme de la producció és la fase 3. Definida com el coll d'ampolla, s'ha passat a produir fora de les instal·lacions de l'empresa juntament amb la fase 4.

Per assolir una producció mensual de 30K corones mensuals s'ha d'efectuar un enviament de 60K corones cada dos mesos.

La gestió del tambor es concentra en mantenir un flux adequat d'anada i tornada de la mercaderia entre Barcelona i l'Àsia. Es tracta d'una gestió logística i administrativa més que d'una pròpiament productiva. Es converteix en una gestió de proveïdors, la qual ha de garantir que les dates d'entrega es respectin al màxim.

Existeix cert risc en el compliment dels terminis d'entrega. Tractant-se d'un enviament a l'Àsia s'ha de tenir present que qualsevol problema, com per exemple algun tràmit a la duana, pot representar un endarreriment d'una setmana. Quan de base els terminis ja són tan elevats, els endarreriments seran molt més crítics.

A la següent imatge s'observa el diagrama O-T de les fases externalitzades a orient:



IMATGE 17, DIAGRAMA OT DE LES FASES EXTERNALITZADES A L'ÀSIA

- Les fletxes verticals simbolitzen l'alliberament de material d'una fase a la següent. Els lots amb diverses línies d'entrega són lots amb entregues parcials.
- Gairebé la meitat del temps que el lot està fora correspon al temps de transport, a on no s'aporta cap valor afegit al producte.
- L'inventari de producte en curs és elevat:
- L'estoc de la fase 3 arriba a un volum de 60K corones en el moment abans de l'enviament.

- Les fases 3 i 4 sumen 60K corones, bé estiguin transportant-se o bé a l'Àsia.
- L'estoc de la fase 5 és també de 60K corones en el moment que retorna el lot a Barcelona.
- El lead time entre la fase 2 i la fase 5 és igualment elevat:
- Malgrat que la mitjana del lead time d'un lot qualsevol són 4 mesos, el d'algunes corones pot arribar a ser de 6 mesos.
- De mitjana, doncs, resulten 120K corones d'inventari i 4 mesos de lead time repartits tal i com es mostra a la taula següent:

Fase	Mitjana Inventari (en unitats)	Mitjana Lead time lot de 60K (en dies)
2	30.000	30
3	60.000	60
4		
5	30.000	30
<b>Total</b>	<b>120.000</b>	<b>120</b>

TAULA 24, RELACIÓ ENTRE INVENTARI I LEAD TIME A LES FASES 2 A 5

#### Buffer:

La fase 2 és la que s'ocupa de tallar tot el fleix que s'enviarà a l'Àsia, és la fase que genera el *pulmó* de material que ha de garantir que el *tambor* no s'atura mai.

Per altra banda, la TOC promou una gestió visual del producte a la planta, a on es pugui observar fàcilment com flueix el material entre fases i identificar-hi els problemes d'una manera precoç. Per aquest motiu es crea un pulmó a cada fase de la línia, per tal de garantir que totes les fases tenen el volum de corones que necessiten per a seguir el ritme del tambor. Òbviament, mentre el producte és fora de la nau es perd també el control visual del flux i no es pot actuar.

S'adopta el criteri de mantenir pulmons d'una jornada de feina per a cada fase. Considerant una producció de 30K corones mensuals i 20 dies laborables, els pulmons suportaran un inventari de 1500 unitats diàries, que es consumiran durant la jornada.

A la taula següent es pot comprovar la relació entre l'ocupació requerida a cada fase per assolir el pulmó desitjat, l'estoc desitjat i l'estoc real:

	capacitat producció diària	capacitat producció mensual	ocupació prevista	pulmó objectiu = 1 jornada	cost unitari	cost objectiu total	Estoc real generat	cost real generat
Nº1 ENTRADA	-	-	-	-	0,1	-	-	-
Nº2 TALLAR	2.887	57.740	52,0%	1.500	0,2	300	30.000	6.000
Nº3 CORBAR	9.200	184.000	100%	1.500	0,2	300	30.000	6.000
Nº4 SOLDAR	26.700	534.000	100%	1.500	0,3	450	60.000	18.000
Nº5 TREMPAR	12.777	255.540	11,7%	1.500	0,4	600	30.000	12.000
Nº6 Col·locar TAPA	2.850	57.000	52,6%	1.500	0,4	600	8.000	3.200
Nº7 Soldar TAPA	3.450	69.000	43,5%	0	0,6	0	0	0
Nº8 Pintar	1.575	31.500	95,2%	1.500	0,7	1.050	10.000	7.000
Nº9 Tampografia	3.450	69.000	43,5%	1.500	0,9	1.350	1.138	1.024,2
Nº10 Empaquetar	2.280	45.600	65,8%	0	1	0	0	0
Nº11 Expedició	10.000	200.000	15,0%	1.500	1	1.500	2.000	2.000
<b>TOTALS</b>	<b>1.575</b>	<b>31.500</b>	<b>-</b>	<b>12.000</b>	<b>-</b>	<b>6.150</b>		<b>55.224,2</b>

TAULA 25, RELACIÓ ENTRE CAPACITATS I PULMÓ DE LES FASES A L'EXTERNALITZACIÓ A L'ÀSIA

- Les fases 3 i 4 en aquest model passen a tenir molta capacitat. No obstant, s'adapten limitant-se a produir la quantitat consignada de 30K mensuals, és a dir, l'equivalent a 1.500 unitats diàries.

- Malgrat aquesta autolimitació, per a satisfer aquesta producció, i donat la freqüència d'enviament dels lots, existeix un inventari voluminós i de cost elevat. El pulmó de la fase 3 creix a diari fins a arribar a les 60K unitats que s'embarquen.
- La fase 6 té un inventari ampli degut a que la fase 5 trempa corones que no són prioritàries dintre dels lots que s'envien al proveïdor. La producció va absorbint aquestes corones trempades conforme els hi arriba el torn segons petició del Kanban.
- Altra fase que acumula inventari és la fase 8. No obstant, això és degut a que el seu pulmó està definit com a estoc del tipus supermercat i el seu volum està definit i controlat.
- La resta de fases tenen capacitat suficient per a satisfer aquestes 1500 unitats, amb una ocupació que va des del 12% de la fase de trempat als 95,2% de la de pintura. El percentatge lliure estarà destinat a que l'operari faci tasques de manteniment i/o ajudi a altres fases productives, especialment les que mostren els índex d'ocupació més elevats.
- Les fases 7 i 10 treballen en continu amb les respectives fases anteriors, pel què no tenen pulmó de material. S'estalvia d'aquesta manera planificada un total de 3.000 unitats de producte en curs.
- En general, el volum dels pulmons ajuda a detectar ineficiències a les fases. Proporcionen un marge de seguretat prou gran com per a fer front a problemes i imprevistos. Segons aquest indicador, es podrà actuar sobre l'índex d'utilització dels recursos corresponents per tal de corregir la situació.

### **Rope:**

La *corda* és el sistema que permet gestionar totes les fases per a que s'adaptin al mateix ritme productiu del coll d'ampolla.

Malgrat que la consigna creada pels pulmons de material ja és prou clara i limita la producció a 1.500 unitats diàries, en aquest model s'adopta a més una gestió d'estoc del tipus Kanban. Aquest sistema permet vincular la demanda del supermercat de la fase 8 amb les ordres de fabricació de la fase 5 i alhora, també amb la fase 2. El funcionament del Kanban queda explicat més en detall en el punt següent de la memòria.

Amb el Kanban no només s'adapta el ritme productiu de tota la línia al del coll d'ampolla, sinó que també s'adapta al ritme de consum real del mercat, s'adapta quantitativament però, encara més interessant, s'adapta també qualitativament.

No obstant, cal destacar que, degut a l'elevat lead time provocat per l'externalització, les ordres de fabricació del Kanban que arribin a la fase 2 no podran esperar dos mesos a que tornin d'Àsia, pel què les fases 3 i 4 es produiran amb els recursos de la planta de Barcelona.

### **GESTIÓ KANBAN DEL SUPERMERCAT DE LA FASE 8**

Tal i com s'ha comentat amb anterioritat, s'adopta un sistema Kanban per a la gestió de l'estoc del tipus supermercat que alimenta la Fase 8. El material s'emmagatzema en contenidors que es troben etiquetats amb les targes pròpies del Kanban.

Es tracta d'un Kanban del *tipus producció* que s'estableix entre la fase 8 (receptora de material) i la fase 5 (emissora de material). Quan l'operari de la fase 8 realitza el Picking de corones y agafa les darreres unitats d'un contenidor, retira la tarja Kanban del contenidor i la fa arribar a la safata de producció de la fase 5. La tarja actua com a una ordre de treball per a la fase 5, a on s'indica el tipus concret de la corona i el número d'unitats que s'han de produir.

En cas que a la fase 5 no es trobin disponibles suficients unitats de la referència de la corona sol·licitada, la mateixa tarja Kanban s'usa com a ordre de producció per a produir un lot des de la fase 2. Òbviament, com aquest cas es tracta d'una urgència, es produirà a la pròpia línia<sup>4</sup> i no s'enviarà pas al proveïdor extern.

En cas de que sí que es trobi el material disponible a la fase 5, s'interpreten les targes Kanban com a ordres de producció. En conseqüència, s'envien al tremp la quantitat de corones de la referència concreta que la tarja Kanban indica. Amb aquest sistema, a partir d'aquesta fase, només es produeix a la línia allò estrictament necessari per a satisfer les comandes de client, i no es treballa més en funció d'estimacions de consum.

Entre els avantatges que aquest sistema aporta destaquen:

- Una gestió alternativa i efectiva a les urgències que no puguin esperar pel material de l'Àsia.
- Una important reducció de l'inventari del supermercat.
- Una producció ajustada a les necessitats reals del mercat. Només es produeix allò que està venut.

---

<sup>4</sup> La gestió de les urgències obliga a mantenir operatives les fases 3 i 4 a la planta.

- Una gestió senzilla del flux productiu comprensible per tot els operaris, els quals participen de les responsabilitats en la planificació.

## PROGRAMA DE POLIVALÈNCIA DEL PERSONAL

L'aplicació de la Teoria de les Limitacions permet identificar el coll d'ampolla de la línia productiva, al igual que s'identifiquen i es quantifiquen la resta dels recursos amb capacitat sobrant. Els operaris d'aquestes seccions es destinaran a altres seccions un cop compleixin amb l'objectiu diari propi. Cada unitat produïda de més per un recurs no coll d'ampolla implica un malbaratament per sobreproducció.

Es treballa per assolir la màxima eficiència també en l'ús del temps dels operaris. En aquest sentit, cobra especial importància el fet de garantir la formació dels operaris en la resta de fases de manera estratègica. Es gestionarà un flux d'operaris que anirà generalment d'aquelles seccions o fases amb un índex d'ocupació més baix cap al coll d'ampolla o cap a aquelles fases amb un índex més alt.

En base a aquest propòsit s'instaura un programa de polivalència dirigit als operaris. Cadascuna de les fases es descomponen en tasques bàsiques i s'elabora un programa de formació segons les característiques del lloc i les capacitats de cada operari. Aquest programa de capacitació pot ser representat en forma de taula a través de l'anomenada *Matriu de Polivalència*.

La matriu estableix un mapa clar de qui sap fer què, quines àrees estan més cobertes que d'altres i quina és la previsió temporal en formar als operaris.

A la taula següent es mostra la relació entre cadascuna de les fases i la seva ocupació prevista per a una producció objectiu de 30K corones segons el present model. En base a l'ocupació es pot interpretar si la fase cedirà operaris o si en rebrà.

Fase productiva	Capacitat producció diària	Capacitat producció mensual	Ocupació prevista	Característica de la fase	Accions derivades
Nº1 ENTRADA	-	-	-	Recurs compartit amb altres línies	Depèn del càlcul de la seva càrrega total
Nº2 TALLAR	2.887	57.740	52,0%	Sobre capacitat	Prestarà ajut a altres fases
Nº3 CORBAR	1.500	30.000	100%	Externalitzada	-
Nº4 SOLDAR	1.500	30.000	100%	Externalitzada	-
Nº5 TREMPAR	12.777	255.540	100%	Externalitzada	-
Nº6 Col·locar TAPA	2.850	57.000	52,6%	Treball en continu per a un sol operari	Prestarà ajut a altres fases
Nº7 Soldar TAPA	3.450	69.000	43,5%		Prestarà ajut a altres fases
Nº8 Pintar	1.575	31.500	95,2%	A prop del límit	Rebrà ajut
Nº9 Tampografia	3.450	69.000	43,5%	Treball en continu per a dos operaris	Prestarà ajut a altres fases
Nº10 Empaquetar	2.280	45.600	65,8%		Prestarà ajut a altres fases
Nº11 Expedició	10.000	200.000	15,0%	Recurs compartit amb altres línies	Depèn del càlcul de la seva càrrega total

TAULA 26, PERCENTATGE D'Ocupació PREVISTA PER FASES

A la taula, les fases externalitzades 3, 4 i 5 es mostren en gris i amb una ocupació fictícia del 100% només per a indicar que aquestes fases no poden deixar operaris. Per a aquestes fases la capacitat és elevada i l'ocupació s'adapta als requeriments productius de la línia.

Els recursos de les fases 1 i 11 atenen a tasques logístiques que afecten altres línies de la planta, de manera que no és possible valorar la seva disponibilitat per a ajudar a altres seccions. Per valorar la seva càrrega de feina cal analitzar la resta de les seves tasques.

En quant a la resta de fases, es pot llegir a la taula quines fases presenten un índex d'ocupació elevat i quines presenten capacitat sobrant segons els percentatges respectius. La gestió dels recursos de la línia es basa en aquestes evidències per tal de reforçar les fases més saturades, com ara pintura, per tal que no esdevinguin coll d'ampolla temporal.

## 4. SUPERACIÓ DE LA RESTRICCIÓ DEL SISTEMA ELEVANT LA SEVA CAPACITAT:

Amb aquest model es produeix un augment de la capacitat del coll d'ampolla de la Fase 3 de forma quasi definitiva. La subcontractació del proveïdor asiàtic per a realitzar les Fases 3 i 4 situa la capacitat d'aquestes

fases per sobre de la capacitat dels altres recursos de la línia. Juntament amb la fase 5 del trempat de l'acer, es poden considerar capacitats il·limitades.

La desaparició d'aquest coll d'ampolla provoca que n'aparegui un altre dins de la línia. Consultant el VSM, s'observa que superada la restricció de la fase 3, el limitant passa a ser la fase 8 de pintura. A la següent taula es poden observar les fases ordenades segons la seva capacitat:

nº ordre	Número de Fase	Unitats / torn	Unitats / mes
1	Nº8 Pintar	1.575	31.500
2	Nº10 Empaquetar	2.280	45.600
3	Nº6 Col·locar TAPA	2.850	57.000
4	Nº2 TALLAR	2.887	57.740
5	Nº7 Soldar TAPA	3.450	69.000
6	Nº9 Tampografia	3.450	69.000
7	Nº3 CORBAR	9.200	184.000
8	Nº11 Expedició	10.000	200.000
9	Nº5 TREMPAR	12.777	255.540
10	Nº4 SOLDAR	26.700	534.000

TAULA 27, FASES PRODUCTIVES ORDENADES PER CAPACITAT DE PRODUCCIÓ

S'observa que les dues fases per sota de pintura, la 10 i la 6, són fases amb operacions completament manuals. És a dir, que només cal afegir un operari com a recurs per a doblar la producció. Es tracta de limitacions que difícilment condicionaran la producció d'una manera important.

Les capacitats que es mostren per sota de la fase de pintura donen a entendre que probablement la següent restricció del sistema serà el propi mercat, ja que es passa a una capacitat de més de 45K unitats més (increment del 50%).

### 3) SI LA LIMITACIÓ S'HA SUPERAT, TORNAR A REALITZAR EL CICLE DES DEL PAS NÚMERO 1)

La TOC es presenta com un model de gestió de la millora continua sense fi. En el moment en que se supera la restricció de la fase 3 d'una manera robusta i definitiva, el limitant de la línia passa a ser un altre.

En aquest darrer punt de la metodologia el que es pretén és subratllar el fet que qualsevol esforç dedicat a augmentar encara més la capacitat de la fase 3 no serà positiu per la fàbrica. L'excés de producció representarà un malbaratament en inventari. Per a elevar la producció de la línia s'haurà d'iniciar de nou el cicle des del punt 1 de la metodologia. Això implica analitzar de nou l'estat assolit i identificar el nou coll d'ampolla del sistema.

Com ja s'ha avançat en el punt anterior, l'estudi de la futura situació de la línia desvetllarà que el nou coll d'ampolla s'establirà en la secció de pintura. A partir d'aquesta definició s'inicia un nou cicle de la metodologia TOC i es desenvolupa un nou pla de millores per tal d'eleva aquesta limitació del sistema.

No es considera el desenvolupament d'una segona derivada del sistema dins del present treball. De fet, no es podrà realitzar aquest exercici fins que la implantació de les millores hagi conclòs i permeti avaluar l'efectivitat d'aquestes. És probable que els resultats definitius reals siguin diferents a les planificades i que aquests distin dels projectats. És habitual que millores en àrees concretes repercutixin en d'altres i es provoquin impactes positius no previstos. Per aquests motius, resulta imprescindible iniciar els passos de la metodologia implementant alhora un VSM amb els nous registres mesurats.

### ANÀLISI DE COSTOS DEL MODEL EXTERNALITZACIÓ A L'ÀSIA

A continuació es realitza una anàlisi simplificada de costos del model d'externalització a l'Àsia, amb l'objectiu de mesurar l'impacte de les mesures que s'adopten en comparació a l'estat inicial i a la resta de models proposats. Els costos han estat classificats per tipus i es presenten segons els següents conceptes, a on els costos fixes s'han considerat invariables i no han intervingut en la realització dels càlculs:

Tipus	Descripció	Estat inicial	Unitats mensuals	Cost unitari	Cost anual estat inicial
Matèria primera	Fleix d'acer en palets.	Objectiu de producció de 30k unitats.	30.000	0,1	36.000
	Tapes de corona mecanitzades.	Objectiu de producció de 30k unitats.	30.000	0,2	72.000
Personal	Indirecte compartit (Administració, RRHH, Comercial, etc.) Puja la dedicació pel contracte amb Àsia.	3 persones, amb una dedicació aproximada del 50% (3 x 0,5).	1,5	20.000	30.000
	Directe (supervisor, operaris, personal temporal)	Nº operaris en producció.	5	20.000	100.000
Producció	Cost fix de producció.	Amortitzacions d'equipaments, maquinaria existent, immobilitzat, etc.	constant	constant	constant
	Cost variable de preparació.	Depenent de la producció.	171,6 h	1	2.059,2
	Cost variable de producció externa.	Fase 3, 4 (1 lot cada 2 mesos)	0,5	1.000	6.000
	Cost variable de producció externa.	2 lots setmanals de la Fase 5.	8,66	150	15.588
	Cost variable de producció interna.	Depenent de la producció.	948,4	3	34.142,4
	Cost variable recuperació de peça	Tendeix a zero, ja que hi ha un rebuig menor al 0,002%	0	Depèn de la fase	0
Qualitat	Cost variable inspecció després producció	Per una banda, l'autocontrol de l'operari en la pròpia manipulació del material durant la producció. Per l'altra, existeixen contractes de qualitat concertada amb els proveïdors.	0	Depèn de la fase	0
	Cost variable inspecció després recuperació peça	Tendeix a zero, ja que hi ha un rebuig menor al 0,002%.	0	Depèn de la fase	0
	Cost variable de rebuig definitiu	Tendeix a zero, ja que hi ha un rebuig menor al 0,002%.	0	Depèn de la fase	0
Transport	Cost fix de transport a client/proveïdor	Constant corresponent a amortització de la flota.	constant	constant	constant
	Cost variable de transport a client	Calculat al capítol de transport extern. Repartiment diari.	20	8	1.920
	Cost variable de transport a proveïdor	Calculat al capítol de transport extern. Dos lots, 4 viatges, a la setmana de la fase 5.	17,33	30	4.317,6
		Transport d'un lot a l'Àsia un cop cada dos mesos (anada i tornada).	1	1500	18.000
	Cost variable de transport intern	Calculat al capítol de transport intern.	6,512	10	781,44
Emmagatzematge	Cost fix de l'emmagatzematge	Considerat constant corresponent amortització instal·lacions, etc.	constant	constant	constant
	Cost variable durant la producció	Número de corones d'inventari pel seu valor corresponent segons la fase (a més valor afegit, més cost)	139.138	Depèn de la fase	566.690,4
	Cost variable durant recuperació de peça	Tendeix a zero, ja que hi ha un rebuig menor al 0,002%.	0	Depèn de la fase	0
	Cost variable durant el temps d'entrega	Número de corones d'inventari al magatzem producte acabat pel seu valor corresponent.	2.000	1	24.000
Manteniment	Cost variable per la producció	Manteniment preventiu programat, depèn de la producció.	2	250	6.000

Tipus	Descripció	Estat inicial	Unitats mensuals	Cost unitari	Cost anual estat inicial
ment	Cost variable per recuperació de peça	Tendeix a zero, ja que hi ha un rebuig menor al 0,002%.	0	Depèn de la fase	0
				<b>Total</b>	<b>917.499</b>

TAULA 28, RESUM DE LA RELACIÓ DE COSTOS ASSOCIADA AL MODEL INICIAL

Respecte a la taula, i en comparació amb l'estat inicial cal comentar que:

- Als costos compartits amb altres recursos, com ara al personal indirecte, se'ls ha aplicat un factor de multiplicació del 0,5 degut a que les corones representen un 40% de la facturació i a que les gestions amb les comandes al proveïdor de l'Àsia han de ser considerades.
- Dins dels costos de producció es tenen en compte les seccions 3 i 4 de la planta, encara que no a ple rendiment, donat que s'hauran d'atendre les urgències que no puguin esperar pel carregament asiàtic.
- Els costos de transport extern s'incrementen degut al carregament enviat al proveïdor asiàtic i a que els viatges setmanals al proveïdor del tremp d'acer es dupliquen (el lot retorna a planta a l'endemà en comptes d'esperar el següent enviament) per la política de maximitzar el flux de material i abaixar el lead time.
- En quant als costos de qualitat, el tipus del producte i la manipulació durant les diferents fases no provoca rebuig de material pel que es consideren uns costos de qualitat tendents a zero. El fet de treballar amb proveïdors externs no augmenta directament els costos de qualitat, ja que es treballa en el marc d'un contracte de qualitat concertada, en el que el proveïdor restitueix aquells defectes dels que és responsable.
- Els costos d'emmagatzematge augmenten significativament degut a l'increment de l'inventari amb motiu de l'externalització a l'Àsia.
- Tot plegat, els costos totals calculats incrementen en un 30% els costos del model inicial.



#### **8.7.1.2. EXTERNALITZACIÓ A DINS DE LA PRÒPIA PROVÍNCIA**

El model que es desenvolupa a continuació presenta similituds amb l'anterior, donat que es planteja una subcontractació de la fase 3 com a solució al coll d'ampolla. La diferència, no obstant, rau en que s'escull un proveïdor de proximitat per a realitzar aquesta externalització, que permetrà una major freqüència d'enviaments de lots molt més petits.

De manera paral·lela al model anterior, es seguiran els cinc passos definits a la metodologia TOC, en molts dels quals existiran similituds, ja que hi ha mesures comunes a tots els models presentats. Entre els arguments descrits a continuació es procurarà no repetir allò que ja hagi estat desenvolupat al primer model però se'n faran referències, necessàries per tal de no descontextualitzar l'anàlisi.

##### **1) IDENTIFICACIÓ DEL COLL D'AMPOLLA:**

Es parteix de la premissa de que el coll d'ampolla del procés a l'estat inicial és la fase 3, la fase de corbar el fleix.

##### **2) DECISIÓ SOBRE COM EXPLOTAR EL COLL D'AMPOLLA:**

La producció de la fase 3 passa a realitzar-se mitjançant un proveïdor extern localitzat a la mateixa província, dins del cinturó industrial de Barcelona.

A continuació es presenta el model del Value Stream Mapping. Amb la seva anàlisi es coneixeran millor els avantatges que pot oferir aquest model.



## INDICADORS DEL VISUAL STREAM MAP

A continuació es representen els principals indicadors a tenir en compte sobre l'estudi del VSM:

Indicador	Externalització Barcelona	Situació inicial	Diferència final-inicial
Temps d'entrega o Lead Time (dies)	47,45	79,61	-32,17
Temps total de creació de valor (hores)	6,69	6,69	0
Inventari de corones a la línia (WIP) (unitats/mes)	49.763,	82.900	-33.136

TAULA 29, INDICADORS VSM DE L'EXTERNALITZACIÓ DINS LA PRÒPIA PROVÍNCIA

El Lead Time es redueix un 40,4% respecte a l'estat inicial degut (entre altres) a l'optimització dels lots de producció i a l'augment de la flexibilitat de la línia.

No obstant, tal com passa a la resta de models, els 28 dies de mitjana que el material passa al magatzem de matèria primera llastren el lead time global. En aquest model aquest temps representa el 59% del temps del procés.

Tanmateix, aquest lead time més curt provoca que el WIP es redueixi a un 40% de l'inicial. Els lots de mida més petita redueixen les despeses d'inventari a la vegada que n'augmenten la flexibilitat de la producció.

### ANÀLISI FASE A FASE

Com a la resta de models, a continuació s'analitzen les característiques que defineixen a cadascuna de les seves fases:

Fase 1, entrada matèria primera: aquest model tampoc té en compte millores en aquest punt. La gestió de proveïdors de matèries primeres no està dins de l'abast del present treball.

- Planificació del tipus Push basada en l'històric de comandes.
- Es rep material del proveïdor (fleix i tapes) amb periodicitat bimensual.
- Es dona d'alta al sistema informàtic i s'emmagatzema a l'àrea de matèria primera.
- Genera un magatzem de matèries primeres amb una rotació de l'estoc molt baixa i un temps d'espera molt elevat que fa créixer el lead time fins als 28 dies.

Fase 2, tall: la gestió de les ordres de treball varia respecte l'estat inicial i respecte el model anterior:

- El material s'agafa del magatzem de matèria primera.
- S'estableix una planificació del tipus Pull basada en la gestió Kanban de la fase 8.
- Les targes que arriben del Kanban a aquesta fase marquen exactament quines referències i les unitats necessàries per fer front a les necessitats del mercat.
- Es tracta d'un lot per a cada referència. El número d'unitats per lot es redueix dràsticament en comparació al model inicial, i encara més comparat amb l'externalització a l'Àsia. Implica un increment important de la flexibilitat productiva.
- Cada canvi de referència resta temps de producció.
- El material elaborat genera un estoc de material que s'encaixa i es paletitza per ser enviat al proveïdor extern de Barcelona. Es fa un enviament cada dos dies.

Fase 3, corbar: el manteniment d'aquesta fase dins de la línia es torna més prescindible en aquest model que a l'asiàtic, donat que el proveïdor és de proximitat i les possibles urgències es poden servir en terminis molt més curts.

- Planificació del tipus Pull basada en la gestió Kanban de la fase 8 amb les targes que vénen de la fase anterior.
- Els lots s'envien amb una freqüència de dos dies i es processen a les instal·lacions del proveïdor. Es tracta tot el lot de producció sencer, no hi ha entregues parcials.
- El material retorna a la fàbrica encaixat i paletitzat i alimenta el pulmó de la fase 4 amb diversos lots d'unitats de varies referències. Les corones de diàmetres més petits van dins de les altres. Això implica que quan arriben a la planta s'han d'ordenar segons diàmetres per tal de poder servir a la següent fase.
- El preu d'aquest servei externalitzat és més elevat que el de l'Àsia, però la seva proximitat permet tota la flexibilitat productiva que l'enviament a l'Àsia no és capaç d'oferir.

Fase 4, soldar cos:

- Es segueix la planificació del tipus Pull basada en la gestió Kanban de la fase 8, amb les targes que arriben de la fase anterior com a ordres de treball, i que defineixen l'ordre de producció, establint tipus de corona i número d'unitats a produir en cada cas.
- El material s'agafa del pulmó creat per la fase anterior.
- En aquest punt s'incorpora el mateix recurs del model anterior:
- L'estació s'adapta per tal de crear un lloc de treball a on l'operari realitza dues fases a la vegada, la 4 i la 6, en comptes d'una sola.
- Mentre el robot de soldadura solda una peça de la fase 4 l'operari posa una tapa de la fase 6.
- No es tracta d'un flux en continu sinó d'una cel·la productiva que realitza dues fases a la vegada, ja que entre la 4 i la 6 s'ha de realitzar la fase 5.
- Es tracta de dos lots diferents que, més que segur, correspondran a diàmetres diferents.
- El temps de cicle de la fase 4 permet encabir l'operació de la fase 6 dins del seu propi temps de màquina. Per tal de fer-ho la fase 6 s'haurà de descompondre en dos i usar dos cicles de la fase 4.
- El material processat passa al pulmó de la fase 5.

Fase 5, trempat de l'acer: el procés es continua realitzant en el mateix proveïdor extern del model inicial, el principal canvi esdevé de la gestió de les targes Kanban:

- Planificació del tipus Pull basada en la gestió Kanban de la fase 8. Les targes del Kanban de producció, les quals vénen de la fase anterior, indiquen quina referència s'ha de produir i quantes unitats.
- El material s'agafa, doncs, de l'estoc creat a la fase 4.
- La capacitat del proveïdor del tremp es pot considerar il·limitada perquè és molt gran. Al model numèric del VSM s'ha representat una capacitat elevada introduint un número fictici de recursos molt elevat (en aquest cas 10K). El limitant de la línia serà sempre la capacitat interna de generar el lot i de gestionar l'enviament.
- El lot que s'envia al proveïdor del trempat de l'acer es compon de corones de diversos diàmetres dels lots sortits de la fase 4. Les corones de diàmetres més petits van dins de les altres més grans, pel que es requereix un temps de preparació.
- Es fan dos enviaments setmanals. A diferència del model inicial, el lot es va a recollir a l'endemà. Així es dupliquen els viatges del transport respecte al model inicial, però es redueix el temps de processat i s'augmenta la flexibilitat de la línia.
- Les corones que arriben del trempat de l'acer s'ordenen per diàmetres, pel que es requereix un temps de preparació, i finalment es conforma un estoc que alimenta la fase següent.

Fase 6, col·locar tapa: com al model asiàtic, aquesta fase passa a realitzar-se conjuntament amb la fase 4 i/o en continu amb la fase número 7.

- Planificació del tipus Pull basada en la gestió Kanban de la fase 8.
- Cal fer el Picking de les dues peces necessàries en aquesta fase. Les corones es troben a l'estoc generat per la fase anterior. Les tapes s'agafen de l'estoc de matèria primera.
- Cada lot de producció es compon per un sol diàmetre de corones.
- La quantitat de lot es fixa segons la necessitat del Kanban que gestiona el supermercat de la fase 8.
- Aquesta fase passa a realitzar-se en flux de producció continu amb la fase 7. L'operari col·loca la tapa a la corona i la unitat es desa directament a l'alimentador del la cèl·lula robotitzada de la fase 7.
- Depenent de la disponibilitat d'operaris, aquesta fase passa a realitzar-se:
  - o bé dins del temps de cicle de la fase 4; l'operari posa la tapa mentre el robot traça el cordó de soldadura.
  - o bé en flux de producció continu amb la fase 7. L'operari col·loca la tapa a la corona i la unitat es desa directament a l'alimentador del la cèl·lula robotitzada de la fase 7.
- D'aquesta manera, no es genera cap inventari entremig i es redueix l'inventari entre fases de prop de 3.000 unitats. Només es trobaran aquella petita quantitat del lot avançada per la fase 4.

Fase 7, soldar tapa: preparada per a treballar en continu amb la fase anterior.

- Planificació del tipus Pull basada en la gestió Kanban de la fase 8.
- Aquesta fase treballa en continu juntament amb l'anterior. El material no ve de cap inventari entremig.
- Cada lot de producció es compon per un sol diàmetre de corones.
- El material processat alimenta el supermercat de la fase 8.

Fase 8, pintar: el material sol·licitat per la gestió Kanban arriba a la fase que el va sol·licitar, de manera que l'operari retorna la tarja al contenidor en el moment de donar-lo d'alta al supermercat.

- Planificació del tipus Pull basada en les comandes formalitzades del client.
- El material es retira de l'estoc tipus supermercat. S'adapta a una gestió Kanban que controla la retirada del material. Les targes Kanban s'envien directament a la fase 2, a diferència del model anterior en què s'enviaven a la fase 5. La dimensió del supermercat es fixa a través de la definició de les dades del Kanban, el qual es basa en l'històric de comandes i es realimenta amb la cartera real de comandes.
- La diferència amb l'estat inicial no és només quantitativa (5.000 unitats menys), sinó també qualitativa: les unitats estan ara controlades per una gestió Kanban. Val a dir que amb el pas del temps i l'adquisició d'experiència en el sistema aquest volum ha de continuar baixant progressivament.
- Un lot es compon per una comanda de client, o per més d'una en el cas que comparteixin el color de pintura (ja sigui el mateix client o un altre), sempre que tinguin dates d'entrega molt properes.
- El material processat passa al pulmó de la fase 9.

Fase 9, tampografia: possibilitat de treballar en flux continu amb la fase 10, en el cas que es disposi d'un operari a cada fase.

- Planificació del tipus Pull basada en les comandes del client.
- El material ve donat de la fase 8 a través d'un pulmó de material.
- El lot es compon per una comanda o per més d'una si comparteixen el disseny del tampó, és a dir, si es tracta del mateix client, sempre que tinguin dates d'entrega molt properes.
- Aquí, planificació de producció pot decidir entre dues opcions, depenent dels recursos existents a la línia en el torn (recordem que també són recursos compartits amb altres línies):
- Si hi ha personal disponible a la fase 10, es treballa en flux continu de material i l'operari de la fase 10 rep directament el material.
- Si no hi ha personal disponible a la fase 10, el material processat passa al pulmó de material de la fase 10.

Fase 10, empaquetar:

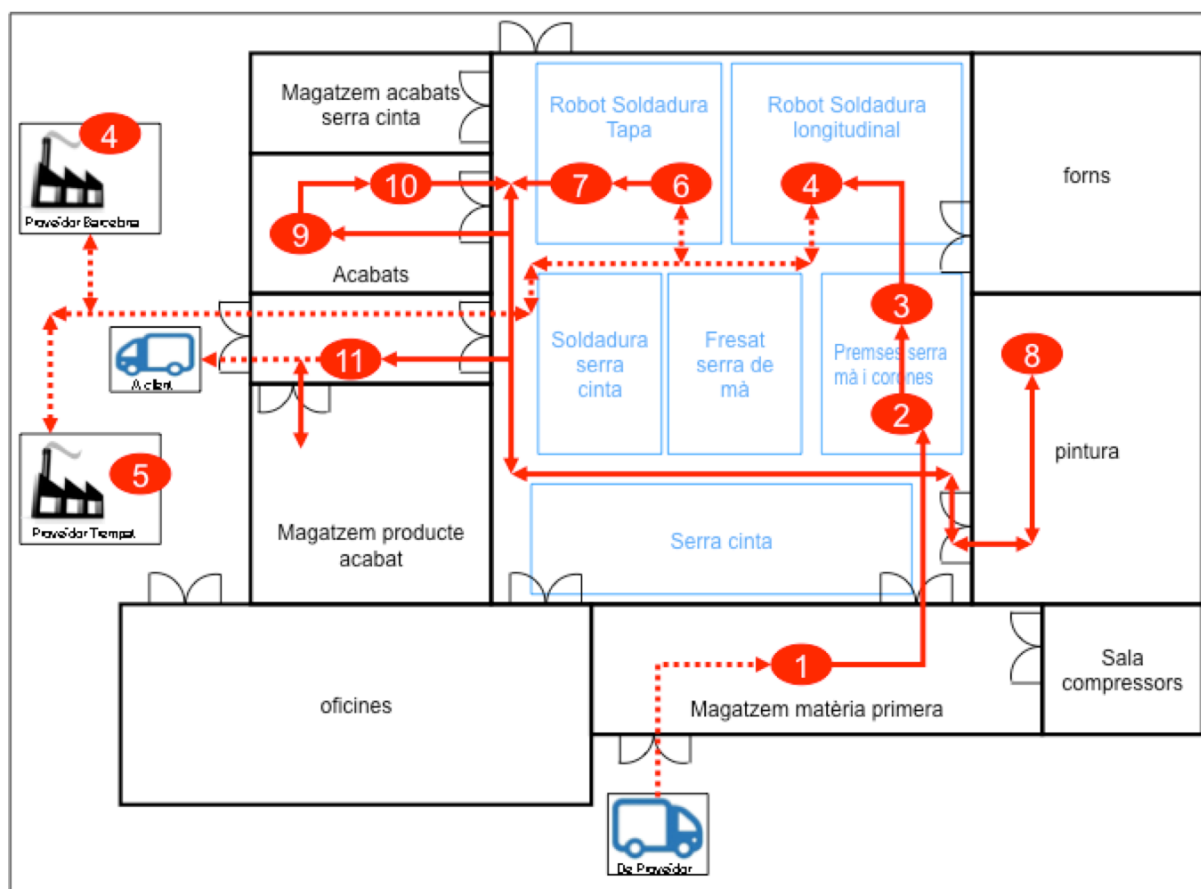
- Planificació del tipus Pull basada en les comandes del client.
- El material ve donat en flux continu de la fase 9 a través d'un pulmó de material.
- El lot es compon per una comanda concreta d'un client.
- El material processat passa al magatzem de producte acabat o àrea d'expedicions.

Fase 11, expedició producte acabat:

- Planificació del tipus Pull basada en les comandes del client.
- Es donen les sortides de les comandes a través dels transports programats.

## LAYOUT DE LA PLANTA

Com la resta de models presentats, aquest model implica algunes modificacions al layout de planta respecte del model inicial.. Tampoc es produeix cap modificació tret de l'adaptació de les cel·les 4 i 7 per a incloure les tasques de la fase 6 en continu.



IMATGE 19, LAYOUT PLANTA MODEL DINS DE LA PROVÍNCIA

Es produeix una reducció important dels inventaris a la planta. El producte que surt de la fase 2 va a la zona d'expedició, al igual que el que surt de la fase 5. Malgrat que els enviaments en ambdós casos són cada dos dies, l'acumulació de material no arriba als nivells del model de producció a l'Àsia.

La fase tres, al igual que a la resta de models, es mantindrà operativa realitzant una petita part de producció. La intenció en aquest cas, és la de mantenir operatives les màquines per no haver d'acabar depenent totalment del proveïdor extern. No es planteja, doncs, cap desinversió dels recursos d'aquesta fase.

A la taula següent es mostren les característiques dels recorreguts interns a la planta:

Procés	Nº desplaçaments diaris	Distància entre fases (metres)	Distància diària (metres)	Distància mensual (metres)
Nº1 ENTRADA	0,5	10	5	100
Nº2 TALLAR	2	35	70	1.400
Nº3 CORBAR	1	130	130	2.600
Nº4 SOLDAR	2	10	20	400
Nº5 TREMPAR	2	90	180	3.600
Nº6 Colocar TAPA	2	10	20	400
Nº7 Soldar TAPA	2	4	8	160
Nº8 Pintar	2	130	260	5.200
Nº9 Tampografia	2	4	8	160

Procés	Nº desplaçaments diaris	Distància entre fases (metres)	Distància diària (metres)	Distància mensual (metres)
Nº10 Empaquetar	2	32	64	1.280
Nº11 Expedició	2	10	20	400
<b>TOTALS</b>	<b>19,5</b>	<b>465</b>	<b>785</b>	<b>15.700</b>

TAULA 30, TRANSPORTS INTERNS MODEL A LA MATEIXA PROVÍNCIA

S'observa un augment global d'un 8% dels recorreguts a dins de planta degut principalment a l'increment de viatges a la fase 3. Aquest increment però, facilita la flexibilitat de la línia ja que es permet la gestió de lots més petits i d'una major freqüència.

Si es considera una velocitat de 2 Km/hora d'un operari transportant corones entre els punts d'inventari i un cost hora de 10€, resulten 7,85 hores/mes de treball amb un cost estimat de 78,5 €/mes.

El següent quadre permet analitzar els recorreguts externs de la línia:

Procés	Nº desplaçaments mensuals	Cost unitari	Cost mensual	Cost anual
Nº1 ENTRADA	0,5	200	100	1.200
Nº2 TALLAR	0	0	0	0
Nº3 CORBAR	8	40	320	8.318,4
Nº4 SOLDAR	0	0	0	0
Nº5 TREMPAR	17,33	30	519,9	6.238,8
Nº6 Colocar TAPA	0	0	0	0
Nº7 Soldar TAPA	0	0	0	0
Nº8 Pintar	0	0	0	0
Nº9 Tampografia	0	0	0	0
Nº10 Empaquetar	0	0	0	0
Nº11 Expedició	20	20	400	4.800
<b>TOTALS</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1.339,9</b>	<b>20.557,2</b>

TAULA 31, TRANSPORT EXTERNS DE MATERIAL PRÒPIA PROVÍNCIA

Respecte a l'estat inicial aquest model representa un augment de més del doble en els costos dels desplaçaments externs. En part degut a la incorporació de l'externalització de la fase 3 i, en part degut a la política de duplicar els viatges al proveïdor del trempat, per tal de recollir el lot a l'endemà de d'haver-se enviat i amb això reduir el Lead Time.

### 3) SUBORDINACIÓ DE TOT A LA DECISIÓ ANTERIOR:

A continuació es recullen les accions que es prenen en aquest model d'externalització a dins de la província, per a procurar que la fase 3 no s'aturi.

#### GESTIÓ DE LA PRODUCCIÓ SEGONS EL MODEL TOC: DRUM, BUFFER, ROPE.

La gestió de la producció a través del model de la Teoria de les Limitacions proposa la definició dels tres elements següents:

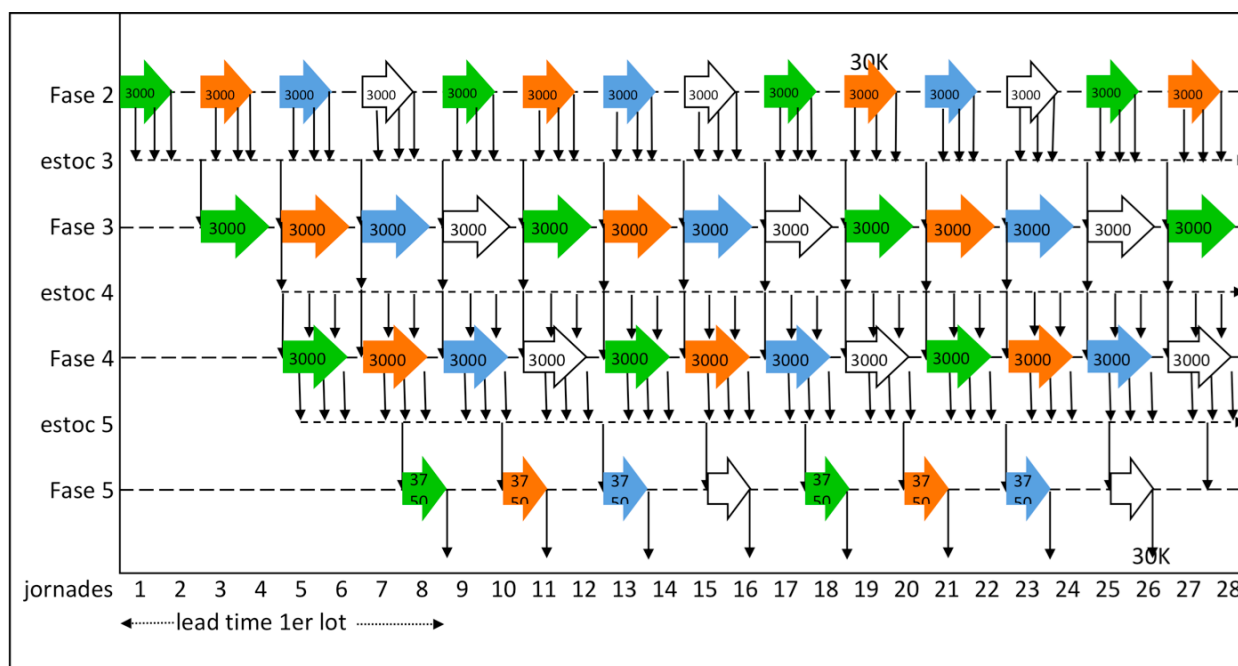
##### **Drum:**

El *tambor* que marca el ritme de la producció és la fase 3. El gruix de la producció es trasllada al proveïdor extern. A diferència del model asiàtic, la fase 4 no es trasllada, i el material retorna a la planta un cop completada la fase 3.

La gestió d'aquesta fase permet un flux de materials amb una freqüència més elevada dels lots, els quals a la vegada són molt més petits. És similar a la gestió de la fase 5, ja que es realitza l'enviament d'un lot cada dos dies. La capacitat del proveïdor és molt elevada, de manera que pot assumir la producció del lot dins del termini, sigui quina sigui la seva mida.

Per a una producció de 30K corones mensuals, 20 jornades al mes i dos lots enviats setmanalment, resulta una mitjana de 3750 unitats com a mida de lot. Quantitat perfectament assumible per la capacitat de la fase 2 que alimenta el pulmó i absorbible per les fases posteriors.

El següent diagrama *Operació - Temps* permet estudiar el comportament dels lots entre fases:



IMATGE 20, DIAGRAMA OT DE LES FASE 2 A 5

- Les fletxes verticals corresponen a entregues de material a la fase següent. Els transports externs de les fases 3 i 5 es componen per lots de diverses mides de corona. Allà a on els lots no requereixen transport extern es poden dividir en entregues parcials, corresponents a un sol tipus de corona.
  - L'inventari de producte en curs es redueix radicalment respecte del model asiàtic:
    - L'estoc de la fase 3 arriba a prop de les 3.000 corones en el moment abans de l'enviament al proveïdor.
    - Les fases 3 i 4 sumen 4.500 corones més.
    - L'estoc de la fase 5 és de 3.750 unitats abans de sortir cap al trempat.
  - El lead time de la fase 2 a la fase 4 cau d'igual manera:
    - Per a un lot de 3.750 unitats són només 6,5 jornades.
    - Per a les 30.000 unitats de l'objectiu mensual el lead time s'estableix en 26,5 jornades productives. Encara que la producció mensual s'assoleix en 19 jornades.
- D'aquesta manera s'incrementa la flexibilitat de la producció en contrast amb la rigidesa plantejada pel model asiàtic.
- De mitjana, resulten 12.500 corones d'inventari i 25,5 dies de lead time repartits tal i com es mostra a la taula següent:

Fase	Mitjana Inventari (en unitats)	Mitjana Lead time lot 3.750 unitats (en dies)	Mitjana Lead time 30K unitats (en dies)
2	1.500	2	19,5
3	4.000	2	2
4	4.000	1,5	1,5
5	3.000	2,5	2,5
<b>Total</b>	<b>12.500</b>	<b>8</b>	<b>25,5</b>

TAULA 32, RELACIÓ ENTRE INVENTARI I LEAD TIME A LES FASES 2 A 5



**Buffer:**

La fase 2 garanteix la generació de l'estoc necessari per a alimentar el coll d'ampolla de manera que aquest no s'aturi mai.

Com al model anterior, en aquest cas totes les fases generen un pulmó de seguretat de la mida d'una jornada de treball. Per a una producció objectiu de 30K mensuals, això suposa un pulmó de 1.500 unitats diàries.

	capacitat producció diària	capacitat producció mensual	ocupació prevista	pulmó objectiu = 1 jornada	cost unitari	cost objectiu total	Estoc real generat	cost real generat
Nº1 ENTRADA	-	-	-	-	0,1	-	-	-
Nº2 TALLAR	2.887	57.740	52,0%	1.500	0,2	300	1.500	300
Nº3 CORBAR	8.460	169.200	17,7%	1.500	0,2	300	4.000	800
Nº4 SOLDAR	2.754	55.080	54,5%	1.500	0,3	450	4.000	1.200
Nº5 TREMPAR	12.777	255.540	11,7%	1.500	0,4	600	3.000	1.200
Nº6 Col·locar TAPA	2.850	57.000	52,6%	1.500	0,4	600	8.000	3.200
Nº7 Soldar TAPA	3.450	69.000	43,5%	0	0,6	0	0	0
Nº8 Pintar	1.575	31.500	95,2%	1.500	0,7	1.050	10.000	7.000
Nº9 Tampografia	3.450	69.000	43,5%	1.500	0,9	1.350	1.138	1.024,2
Nº10 Empaquetar	2.280	45.600	65,8%	0	1	0	0	0
Nº11 Expedició	10.000	200.000	15,0%	1.500	1	1.500	2.000	2.000
TOTALS	1.575	31.500	-	12.000	-	6.150	33.638	16.724,2

TAULA 33, RELACIÓ ENTRE CAPACITATS I PULMÓ DE LES FASES A L'EXTERNALITZACIÓ DINS LA PROVÍNCIA

- La fase 3 externalitzada passa a tenir una capacitat elevada. Es limita a produir el valor consagrat de 1.500 unitats diàries per tal de garantir una producció de 30K mensuals.
- La fase 4 es realitza internament però, amb una ocupació del 54,5% no ha de presentar problemes en cobrir la producció.
- L'estoc mitjà real generat és més elevat del consagrat degut a que la freqüència de viatges al proveïdor és cada dos dies.
- Al igual que en els altres models, es manté el supermercat de la fase 8 i el seu volum d'inventari.
- La resta de fases dediquen el seu excés de capacitat per a tasques de suport a les fases amb índex d'ocupació més elevat. Aquesta ocupació varia des del 12% de la fase de trempat fins als 95,2% de la de pintura.
- Al igual que el model anterior, les fases 6 i 7 per una banda i les 9 i 10 per l'altra treballen en continu, de manera que el pulmó és nul entre elles.

- **Rope:**

La *corda*, tal com passa al model anterior, es representa per la gestió Kanban del supermercat a la fase 8. Amb aquesta gestió es garanteix que totes les fases produeixin al mateix ritme que marca el coll d'ampolla de la fase 3.

Existeix una diferència important amb el model del proveïdor asiàtic, i és que en el present model les ordres de treball que genera el Kanban van directament a la fase 2. Les implicacions en la producció són significatives, donat que totes les ordres de producció es generen amb una necessitat real d'una comanda de client ja existent, mentre que en el model inicial o en el model de l'Àsia les ordres de treball es llienen en funció d'una previsió en base a l'històric, amb totes les ineficiències que això comporta.

En el model asiàtic només les urgències arribaven aigües amunt fins la fase 2. En aquest model, sistemàticament, totes les targetes Kanban van destinades a la fase 2.

En el punt següent es desenvolupa el funcionament de la gestió Kanban.

## GESTIÓ KANBAN DEL SUPERMERCAT DE LA FASE 8

En relació al punt anterior, es detallen a continuació les característiques de la gestió Kanban<sup>5</sup>. La diferència respecte del model Asiàtic, tal i com també s'ha avançat al punt anterior, rau en el fet que les targes que genera el Kanban del supermercat de la fase 8 són enviades directament a la fase 2 i no a la 5, com passava al model de l'Àsia. Cada tarja actua com a una ordre de treball a on s'indica el tipus concret de la corona i el número d'unitats que s'han de produir.

Respecte als models presentats, aquest sistema proporciona:

- Una reducció significant de l'inventari, maximitzant el flux de material.
- Un augment significatiu de la facilitat en la gestió, però per sobre d'això té la virtut d'ajustar completament la producció a la demanda real del mercat. Ja no és necessari treballar amb previsions de producció a llarg termini, gràcies a la proximitat del proveïdor i a l'alta freqüència dels transports.

### PROGRAMA DE POLIVALÈNCIA DEL PERSONAL

Gràcies a l'enfocament de la TOC s'identifiquen els recursos de la línia que presenten un excés de capacitat i permet definir quin és l'índex d'ocupació necessari per a cobrir la producció fixada com a objectiu de la línia. La planificació dels recursos es realitza en funció d'aquests temps d'ocupació previstos. Els operaris de les seccions amb més capacitat es destinaran a altres seccions un cop acompleixin l'objectiu de producció diari. Cada unitat produïda de més per un recurs no coll d'ampolla implica un malbaratament per sobreproducció.

Fase productiva	Capacitat producció diària	Capacitat producció mensual	Ocupació prevista	Característica de la fase	Accions derivades
Nº1 ENTRADA	-	-	-	Recurs compartit amb altres línies	
Nº2 TALLAR	2.887	57.740	52,0%	Sobre capacitat	Prestarà ajut a altres fases
Nº3 CORBAR	1.500	30.000	100%	Externalitzada	-
Nº4 SOLDAR	2.754	55.080	54,5%	Sobre capacitat	Prestarà ajut a altres fases
Nº5 TREMPAR	12.777	255.540	11,7%	Externalitzada	-
Nº6 Col·locar TAPA	2.850	57.000	52,6%	Treball en continu per a un sol operari	Prestarà ajut a altres fases
Nº7 Soldar TAPA	3.450	69.000	43,5%		Prestarà ajut a altres fases
Nº8 Pintar	1.575	31.500	95,2%	Al límit	Rebrà ajut
Nº9 Tampografia	3.450	69.000	43,5%	Treball en continu per a dos operaris	Prestarà ajut a altres fases
Nº10 Empaquetar	2.280	45.600	65,8%		Prestarà ajut a altres fases
Nº11 Expedició	10.000	200.000	15,0%	Recurs compartit amb altres línies	

TAULA 34, PERCENTATGE D'Ocupació PREVISTA PER FASES

A la taula es representen els índex d'ocupació calculats per a cadascuna de les fases. Per a gestionar la capacitat sobrant, s'incorpora el programa de polivalència del personal. En aquest programa es defineixen les tasques de cada fase i s'estableixen programes de formació del personal per tal de guanyar polivalència i cobrir els llocs de treball estratègicament més rellevants.

Les fases externalitzades 3 i 5 es mostren en gris i amb una ocupació fictícia del 100% només per a indicar que aquestes fases no poden deixar operaris. En realitat, la capacitat d'aquestes fases és elevada i l'ocupació s'adapta als requeriments productius de la línia.

Els recursos de les fases 1 i 11 atenen a tasques logístiques que afecten altres línies de la planta. Per valorar la seva càrrega de feina cal analitzar la resta de les seves tasques. En aquesta taula només es mostra la càrrega referent a la línia de corones.

<sup>5</sup> Consultar el model de l'Àsia per a veure les característiques del Kanban del supermercat, ja que són comunes a tots els models. Aquí es desenvolupa només la part de gestió de les targes i les diferències que es donen respecte d'aquell.

Per a la resta de fases es defineix la previsió del percentatge d'ocupació i si en aquest model poden prestar ajut o si n'haurien de rebre.

#### 4) SUPERACIÓ DE LA RESTRICCIÓ DEL SISTEMA ELEVANT LA SEVA CAPACITAT:

L'externalització de proximitat aconsegueix augmentar la capacitat del coll d'ampolla de la fase 3 tant com la planificació ho exigeixi. La proximitat del proveïdor permet el flux de material cada dos dies, i així es garanteix la flexibilitat de la producció i evita la creació d'un inventari massa costós.

La desaparició d'aquest coll d'ampolla provoca inevitablement que n'aparegui un altre diferent a la línia. Consultant el VSM, s'observa que superada la restricció de la fase 3, el limitant passa a ser la fase 8 de pintura. A la següent taula es poden observar les fases ordenades segons la seva capacitat. Es diferencia del model asiàtic ja que la Fase 4 deixa de ser un recurs il·limitat i ocupa la posició nº 3 de la taula:

nº ordre	Número de Fase	Unitats / torn	Unitats / mes
1	Nº8 Pintar	1.575	31.500
2	Nº10 Empaquetar	2.280	45.600
3	Nº4 SOLDAR	2.754	55.080
4	Nº6 Col·locar TAPA	2.850	57.000
5	Nº2 TALLAR	2.887	57.740
6	Nº7 Soldar TAPA	3.450	69.000
7	Nº9 Tampografia	3.450	69.000
8	Nº3 CORBAR	8.460	169.200
9	Nº11 Expedició	10.000	200.000
10	Nº5 TREMPAR	12.777	255.540

TAULA 35, FASES PRODUCTIVES ORDENADES PER CAPACITAT DE PRODUCCIÓ

Cal destacar, igual que al model anterior, que les fases 10 i 6 són fases amb operacions completament manuals i que només afegint un operari es pot doblar la producció. Coneixent les càrregues de feina i la matriu de polivalència del personal resultarà senzill incrementar aquest rati.

Al igual que el model asiàtic, en aquest model les capacitats que es mostren per sota de la fase de pintura donen a entendre que probablement la següent restricció del sistema serà el propi mercat, ja que es passa a una capacitat de més de 45K unitats més (increment del 50%).

#### 5) SI LA LIMITACIÓ S'HA SUPERAT, TORNAR A REALITZAR EL CICLE DES DEL PAS NÚMERO 1)

Com a la resta dels models presentats, un cop superada la restricció de la fase 3 d'una manera robusta i definitiva, el limitant de la línia passa a ser un altre, pel que no serà beneficiós per la línia el fet de continuar incrementant la capacitat d'aquesta fase.

Per a elevar la producció de la línia s'ha d'iniciar de nou el cicle des del punt 1 de la metodologia. Això implica analitzar de nou l'estat assolit i identificar el nou coll d'ampolla del sistema.

Com també es comenta en la resta de models, aquest projecte no té com a objectiu desenvolupar l'anàlisi del segon cicle de millora. La metodologia està explicada i seria la mateixa però, en el nou context, cal refer la modelització del Visual Stream Mapping i argumentar les noves solucions de les diferents fases.

## ANÀLISI DE COSTOS DEL MODEL DINS LA PRÒPIA PROVÍNCIA

Seguint la descripció de l'actual model, a continuació es presenta l'anàlisi simplificada de costos. L'objectiu és quantificar l'impacte de les mesures que s'adopten en comparació a l'estat inicial i a la resta de models proposats. Els costos han estat classificats per tipus i es presenten segons els següents conceptes, a on els costos fixes s'han considerat invariables i no han intervingut en la realització dels càlculs:

Tipus	Descripció	Estat inicial	Unitats mensuals	Cost unitari	Cost anual estat inicial
Matèria primera	Fleix d'acer en palets.	Objectiu de producció de 30k unitats.	30.000	0,1	36.000
	Tapes de corona mecanitzades.	Objectiu de producció de 30k unitats.	30.000	0,2	72.000
Personal	Indirecte compartit (Administració, RRHH, Comercial, etc.)	3 persones, amb una dedicació aproximada del 40% (3 x 0,4).	1,2	20.000	24.000
	Directe (supervisor, operaris, personal temporal)	Nº operaris en producció.	5,4	20.000	108.000
Producció	Cost fix de producció	Amortitzacions d'equipaments, maquinaria existent, immobilitzat, etc.	constant	constant	constant
	Cost variable de preparació	Depenent de la producció.	171,6 h	1	2.059,2
	Cost variable de producció externa	Fase 3 (1 lot cada 2 dies)	8,66	200	20.784
	Cost variable de producció externa	2 lots setmanals de la Fase 5.	8,66	150	15.588
	Cost variable de producció interna	Depenent de la producció.	692,4	3	24.926,4
	Cost variable recuperació de peça	Tendeix a zero, ja que hi ha un rebuig menor al 0,002%.	0	depèn de la fase	0
Qualitat	Cost variable inspecció després producció	Per una banda, l'autocontrol de l'operari en la pròpia manipulació del material durant la producció. Per l'altra, existeixen contractes de qualitat concertada amb els proveïdors.	0	depèn de la fase	0
	Cost variable inspecció després recuperació peça	Tendeix a zero, ja que hi ha un rebuig menor al 0,002%.	0	depèn de la fase	0
	Cost variable de rebuig definitiu	Tendeix a zero, ja que hi ha un rebuig menor al 0,002%.	0	depèn de la fase	0
Transport	Cost fix de transport a client/proveïdor	Constant corresponent a amortització de la flota.	constant	constant	constant
	Cost variable de transport a client	Calculat al capítol de transport extern. Repartiment diari.	20	8	1.920
	Cost variable de transport a proveïdor	Calculat al capítol de transport extern. Dos lots, 4 viatges, a la setmana de la fase 5.	17,33	30	4.317,6
		Calculat al capítol de transport extern. Dos lots, 4 viatges, a la setmana de la fase 5.	17,33	40	8.318,4
	Cost variable de transport intern	Calculat al capítol de transport intern.	7,85	10	942
Emmagatzematge	Cost fix de l'emmagatzematge	Considerat constant corresponent amortització instal·lacions, etc.	constant	constant	constant
	Cost variable durant la producció	Número de corones d'inventari pel seu valor corresponent segons la fase (a més valor afegit, més cost)	49.763	depèn de la fase	122.690,4
	Cost variable durant recuperació de peça	Tendeix a zero, ja que hi ha un rebuig menor al 0,002%.	0	depèn de la fase	0
	Cost variable durant el temps d'entrega	Número de corones d'inventari pel seu valor corresponent segons la fase (a més valor afegit, més cost)	2.000	1	24.000
Manteniment	Cost variable per la producció	Manteniment preventiu programat,	2	250	6.000

Tipus	Descripció	Estat inicial	Unitats mensuals	Cost unitari	Cost anual estat inicial
ment		depèn de la producció.			
	Cost variable per recuperació de peça	Tendeix a zero, ja que hi ha un rebuig menor al 0,002%.	0	depèn de la fase	0
				<b>Total</b>	<b>471.456</b>

TAULA 36, RESUM DE LA RELACIÓ DE COSTOS ASSOCIADA AL MODEL EXTERNALITZACIÓ DINS DE LA PROVÍNCIA

Respecte a la taula, i en comparació amb l'estat inicial cal comentar que:

- Als costos compartits amb altres recursos, com ara al personal indirecte, se'ls ha aplicat un factor de multiplicació del 0,4 degut a que les corones representen un 40% de la facturació. Es considera que la gestió de les ordres de treball de la fase 3 enviades al proveïdor de dins la província no representen un volum rellevant.
- Dins dels costos de producció es té en compte la secció 3 a dins de la planta, encara que no a ple rendiment, donat que s'atendran algunes ordres de fabricació. Es manté operativa.
- Els costos de transport extern s'incrementen respecte a l'estat inicial però no són tan grans com en el model asiàtic. Els viatges setmanals als proveïdors externs es dupliquen (el lot retorna a planta a l'endemà en comptes d'esperar el següent enviament) per la política de maximitzar el flux de material i abaixar el lead time.
- En quant als costos de qualitat, el tipus del producte i la manipulació durant les diferents fases no provoca rebuig de material pel que es consideren uns costos de qualitat tendents a zero. El fet de treballar amb proveïdors externs no augmenta directament els costos de qualitat, ja que es treballa en el marc d'un contracte de qualitat concertada, en el que el proveïdor restitueix aquells defectes dels que és responsable.
- Els costos variables d'emmagatzematge es redueixen significativament degut a la reducció d'inventari en curs entre fases: representen la meitat del model inicial i només el 36% del model asiàtic.
- Tenint en compte el cost total, el present model representa només el 66% dels costos del model inicial i només la meitat (51,3%) del cost de produir a l'Àsia.

### **8.7.1.3. INTERNAMENT, A DINS DE LA LÍNIA DE CORONES**

Es planteja tot seguit un darrer model de producció, a on es pretén elevar el coll d'ampolla a través de l'increment de la producció a dins de la pròpia línia, sense externalitzacions. A continuació es desenvolupen els cinc criteris definits per la Teoria de les Limitacions.

#### **1) IDENTIFICACIÓ DEL COLL D'AMPOLLA:**

Com a la resta de models, es parteix de la base que dins de l'anàlisi de l'estat inicial el coll d'ampolla del procés és la fase 3, la fase de corbar el fleix.

#### **2) DECISIÓ SOBRE COM EXPLOTAR EL COLL D'AMPOLLA:**

La producció de la fase 3 es realitza dins de línia, i per això s'establiran les mesures necessàries per a elevar el coll d'ampolla i superar la restricció del sistema.

El Value Stream Map següent representa el comportament de la producció en aquest model. A posteriori, es comenten en detall les característiques de cada fase.



## INDICADORS DEL VISUAL STREAM MAPPING

Els indicadors de la següent taula representen una quantificació objectiva de l'eficiència del model proposat:

Indicador	Dins de línia	Situació inicial	Diferència final-inicial
Temps d'entrega o Lead Time (dies)	44,95	79,61	-34,67
Temps total de creació de valor (hores)	6,69	6,69	0
Inventari de corones a la línia (WIP) (unitats/mes)	39.958	82.900	-33.016

TAULA 37, INDICADORS VSM MODEL INTERN A LÍNIA

El Lead Time es redueix un 43,8% respecte al de l'estat inicial. Els motius d'aquesta reducció s'expliquen per la nova configuració dels lots, per la seva mida i la freqüència, que s'ajusten a la demanda real del mercat, així com per la nova gestió del sistema productiu a través de la TOC.

Malauradament, com ja s'ha comentat als altres models, es manté invariable la política de compres i les entregues es produeixen cada dos mesos. Motiu pel qual també s'ha de tenir en compte que el material està de mitjana uns 28 dies al magatzem de matèria primera. Això representa un considerable 62,3% del Lead Time.

La quantitat d'inventari, o *WIP*, respecte a la situació inicial es redueix de manera significativa, representa tan sols un 60,2% del material que existia abans entre les fases.

### ANÀLISI FASE A FASE

A continuació es detalla l'anàlisi de les característiques que defineixen a cadascuna de les fases en aquest model:

Fase 1, entrada matèria primera: com ja ha estat comentat, aquest punt no varia entre els diversos models proposats.

- Planificació del tipus Push basada en l'històric de comandes.
- Es rep material del proveïdor (fleix i tapes) amb periodicitat bimensual.
- Es dona d'alta al sistema informàtic i s'emmagatzema a l'àrea de matèria primera.
- Genera un magatzem de matèries primeres amb una rotació de l'estoc molt baixa i un temps d'espera molt elevat que fa créixer el lead time fins als 28 dies.

Fase 2, tall: la gestió de les ordres de treball varia respecte a l'estat inicial, coincidint amb el model anterior d'externalització a la província, tret del darrer punt:

- El material s'agafa del magatzem de matèria primera.
- S'estableix una planificació del tipus Pull basada en la gestió Kanban de la fase 8.
- Les targes que arriben del Kanban a aquesta fase marquen exactament quines referències i les unitats necessàries per fer front a les necessitats del mercat.
- Es tracta d'un lot per a cada referència. El número d'unitats per lot es redueix dràsticament en comparació al model inicial, i encara més comparat amb l'externalització a l'Àsia. Implica un increment important de la flexibilitat productiva.
- Cada canvi de referència resta temps de producció.
- El material elaborat genera un estoc de material que conforma un estoc que abastirà la fase següent.
- Donat que el temps de cicle del tall és molt menor que el de la fase 3 de corbar, aquesta podria arrencar a tractar el mateix lot pocs segons més tard.

Fase 3, corbar: es produeix amb els recursos propis de la línia.

- Planificació del tipus Pull basada en la gestió Kanban de la fase 8 amb les targes que vénen de la fase anterior.
- El material s'agafa de l'estoc de material creat per la fase anterior. Es pot treballar pràcticament en continu amb el material que surt del tall, ja que el tall té un temps de cicle molt més curt, és un procés semiautomàtic i la distància entre seccions és curta. En tal cas, es faran entregues parcials del lot per tal que la fase tres no s'aturi.
- Cada lot de producció està format per una sola referència.
- Donat que es tracta de la fase coll d'ampolla, s'emprenen diverses accions per a augmentar la capacitat:
- S'augmenta el temps d'ocupació de màquina:



- A l'hora del dinar els operaris d'altres seccions no coll d'ampolla supleixen als de la fase 3 per tal que la secció no s'aturi. Cal pactar amb els operari el no solapament de la seva hora de menjar. Es guanya una hora de producció.
- D'igual manera, els descansos de l'esmorzar (20 minuts) i les aturades esporàdiques també són coberts per personal de seccions properes no colls d'ampolla.
- Les preparacions dels lots provinents de la fase 2 com dels sortints cap al pulmó de la fase 4 es fan en paral·lel per operaris de seccions no coll d'ampolla.
- Es planteja la possibilitat de realitzar hores extra a tots aquells empleats formats en la secció. Segons el VSM cada hora extra incrementarà en 180 unitats la producció diària de la fase (i de la línia sencera, donat que es tracta del coll d'ampolla).
- L'augment de canvis d'utilatge per l'augment de canvis de referència juga en contra de la producció, però es considera com un "mal necessari".
- Mesures que requereixen inversió:
- A l'estat inicial es considera que els recursos, les dues premses, compten en realitat com a una i mitja, donat que no totes les referències poden estar fetes per les dues. S'adapten les dues premses per a que ambdues puguin treballar el màxim de diàmetres possibles, centrant-se en les corones amb més sortida.
- Inversions en una nova premsa resulta complicat, no només per la vessant econòmica, sinó també per motius de layout. És complicat trobar una possible ubicació dins de la planta.
- El material alimenta el pulmó de la fase 4.

Fase 4, soldar cos: donat que la fase anterior és el coll d'ampolla, no es pot establir una producció en continu ja que el diferent temps de cicle deixa massa temps lliure al cicle de la fase 4 i resulta ineficient.

- Planificació del tipus Pull basada en la gestió Kanban de la fase 8, adoptant les targes que arriben de la fase anterior com a ordres de treball.
- Al igual que als altres models proposats, en aquesta fase s'incorpora la producció de la fase 6. L'estació s'adapta per tal de crear un lloc de treball a on l'operari realitza dues fases a la vegada, la 4 i la 6, en comptes d'una sola.
- El material s'agafa de l'estoc creat per la fase 3.
- Cada lot de producció es compon per un sol diàmetre de corones.
- La quantitat del lot es fixa segons la necessitat del Kanban.
- El material processat passa al pulmó de la fase 5.

Fase 5, trempat de l'acer: no existeix gaire diferència respecte a la fase de trempat del model anterior:

- Planificació del tipus Pull basada en la gestió Kanban de la fase 8. Les targes del Kanban de producció indiquen quina referència s'ha de produir i quantes unitats.
- El material s'agafa de l'estoc creat per la fase 4.
- La capacitat del proveïdor del tremp es pot considerar il·limitada perquè és molt gran. El limitant serà sempre la capacitat interna de generar el lot i de gestionar l'enviament.
- El lot que s'envia al proveïdor del trempat de l'acer està format per corones de diversos diàmetres, ja que es compon amb diversos lots de la fase 4 (les corones de diàmetres més petits van dins de les altres).
- Es fan dos enviaments setmanals. El lot es va a recollir a l'endemà. Així es dupliquen els viatges del transport respecte al model inicial, però es redueix el temps de processat i es guanya en flexibilitat.
- Les corones que arriben del trempat de l'acer s'ordenen per diàmetres i es conforma un estoc que alimenta la fase següent.

Fase 6, col·locar tapa: de manera idèntica als altres models es realitza conjuntament amb la fase 4 i/o en continu amb la fase número 7.

- Planificació del tipus Pull basada en la gestió Kanban de la fase 8.
- Les corones provenen de l'estoc generat per la fase anterior. Les tapes s'agafen de l'estoc de matèria primera.
- Cada lot de producció es compon per un sol diàmetre de corones.
- La quantitat es fixa segons la necessitat del Kanban que gestiona el supermercat de la fase 8, i la planificació de comandes.
- El material processat alimenta el pulmó de la fase 7.

Fase 7, soldar tapa: com en els altres models, aquesta fase està preparada per a treballar en continu amb la fase anterior.

- Planificació del tipus Pull basada en la gestió Kanban de la fase 8.
- Aquesta fase treballa en continu juntament amb l'anterior. El material no ve de cap inventari entremig.
- Cada lot de producció es compon per un sol diàmetre de corones.
- El material processat alimenta el supermercat de la fase 8.

Fase 8, pintar: de manera idèntica al model anterior, a la fase de pintura es gestiona l'estoc a través d'un sistema Kanban que origina els senyals o targes que funcionen com a ordres de treball de la fase .

- Planificació del tipus Pull basada en les comandes formalitzades del client.
- S'agafa el material de l'estoc tipus supermercat gestionat mitjançant una gestió Kanban. Les targes del Kanban de Producció s'envien a la fase 2. La dimensió del supermercat es basa en l'històric de cartera de comandes i es realimenta amb la cartera real de comandes.
- Un lot es compon per una comanda o per més d'una si comparteixen el color de pintura (ja sigui el mateix client o un altre), sempre que tinguin dates d'entrega molt properes.
- El material processat passa al pulmó de la fase 9.

Fase 9, tampografia: la fase es comporta com al model precedent, es dóna possibilitat de treballar en flux continu amb la fase 10.

- Planificació del tipus Pull basada en les comandes del client.
- El material ve donat en flux continu de la fase 8 a través d'un pulmó de material.
- El lot es compon per una comanda o per més d'una si comparteixen el disseny del tampó, és a dir, si es tracta del mateix client, sempre que tinguin dates d'entrega molt properes.
- El material processat passa al pulmó de material de la fase 10.

Fase 10, empaquetar: idèntic que al model previ.

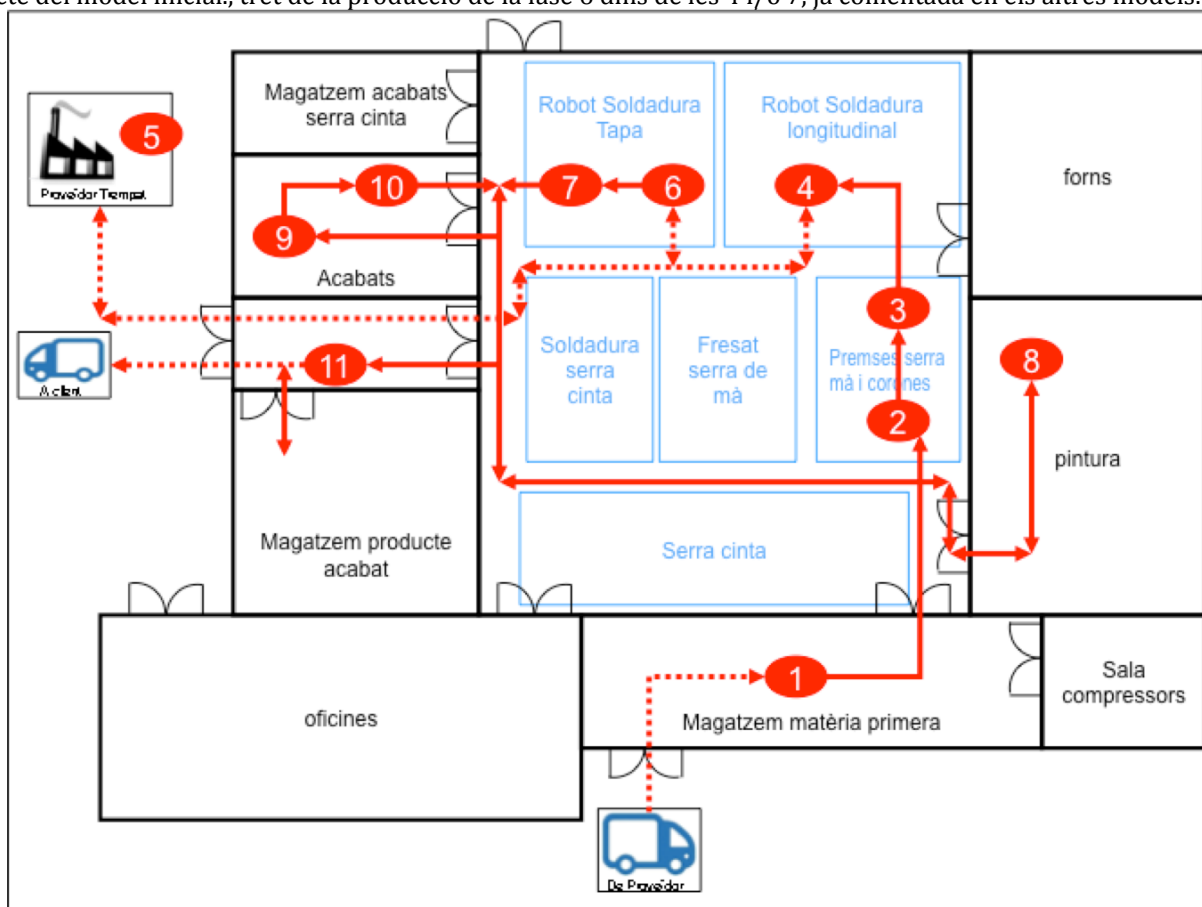
- Planificació del tipus Pull basada en les comandes del client.
- El material ve donat en flux continu de la fase 9 a través d'un pulmó de material.
- El lot es compon per una comanda concreta d'un client.
- El material processat passa al magatzem de producte acabat o àrea d'expedicions.

Fase 11, expedició producte acabat: repeteix l'estructura.

- Planificació del tipus Pull basada en les comandes del client.
- Es donen les sortides de les comandes a través dels transports programats.

## LAYOUT DE LA PLANTA

La modificació més significativa d'aquest model és la supressió de l'externalització del coll d'ampolla. L'única externalització que es manté és el trempat de la fase 5. La resta de seccions continuen igual planta respecte del model inicial., tret de la producció de la fase 6 dins de les 4 i/o 7, ja comentada en els altres models.



IMATGE 22, LAYOUT MODEL DINS DE PLANTA

La producció es regeix per una gestió TOC i unes prioritats Kanban que garanteixen un gran estalvi en l'inventari. Els inventaris de les fases 5 (tremp) i 8 (pintura) estan limitats i controlats.

A la taula següent es mostren les característiques dels recorreguts interns a la planta:

Procés	Nº desplaçaments diaris	Distància entre fases (metres)	Distància diària (metres)	Distància mensual (metres)
Nº1 ENTRADA	0,5	10	5	100
Nº2 TALLAR	2	35	70	1.400
Nº3 CORBAR	2	5	10	200
Nº4 SOLDAR	2	5	10	200
Nº5 TREMPAR	2	90	180	3.600
Nº6 Colocar TAPA	2	10	20	400
Nº7 Soldar TAPA	2	4	8	160
Nº8 Pintar	2	130	260	5.200
Nº9 Tampografia	2	4	8	160
Nº10 Empaquetar	2	32	64	1.280
Nº11 Expedició	2	10	20	400
<b>TOTALS</b>	<b>20,5</b>	<b>335</b>	<b>655</b>	<b>13.100</b>

TAULA 38, TRANSPORT INTERN DE MATERIAL MODEL DINS DE PLANTA

Segons aquesta taula, les distàncies dels recorreguts cauen globalment un 10%. Aquesta disminució correspon directament a la millora de l'eficiència en la gestió dels lots: ja no es malbaraten moviments de material a punts d'estoc entre fases, sinó que el material va directament al pulmó de la fase següent, a on serà usat durant la jornada.

Si es considera una velocitat de 2 Km/hora d'un operari transportant corones paletitzades i un cost hora de 10€, resulten 6,55 hores/mes de treball amb un cost estimat de 65,5 €/mes.

A la taula següent es mostra l'anàlisi dels recorreguts externs. Recorreguts a proveïdors i a client:

Procés	Nº desplaçaments mensuals	Cost unitari	Cost mensual	Cost anual
Nº1 ENTRADA	0,5	200	100	1.200
Nº2 TALLAR	0	0	0	0
Nº3 CORBAR	0	0	0	0
Nº4 SOLDAR	0	0	0	0
Nº5 TREMPAR	17,33	30	519,9	6.238,8
Nº6 Col·locar TAPA	0	0	0	0
Nº7 Soldar TAPA	0	0	0	0
Nº8 Pintar	0	0	0	0
Nº9 Tampografia	0	0	0	0
Nº10 Empaquetar	0	0	0	0
Nº11 Expedició	20	20	400	4.800
<b>TOTALS</b>	-	-	<b>1.019,9</b>	<b>12.238,8</b>

TAULA 39, TRANSPORTS EXTERNES DE MATERIAL MODEL DINS DE PLANTA

Existeix un increment de costos d'un 34% respecte de l'estat inicial, degut a la decisió de fer el doble de viatges al proveïdor del tremp. Els lots enviats dos cops per setmana, es van a buscar a l'endemà en comptes d'esperar el dia de l'enviament del següent lot. Aquest és el cost per escurçar el lead time d'aquesta fase en un dia (o dos).

### 3) SUBORDINACIÓ DE TOT A LA DECISIÓ ANTERIOR:

A continuació s'exposen les característiques definides al model internalitzat per a procurar que la fase 3, coll d'ampolla de la línia, no s'aturi.

#### GESTIÓ DE LA PRODUCCIÓ SEGONS EL MODEL TOC: DRUM, BUFFER, ROPE.

De manera idèntica al que ja s'ha vist en els altres models, es defineixen en les següent línies el drum, el buffer i el rope propis de la producció de la fase 3 dins de la pròpia línia.

#### DRUM:

Es tracta del coll d'ampolla que marca el ritme de la producció. El concepte productiu varia força respecte als altres models proposats, ja que no existeix un lot de diverses referències a entregar a un proveïdor. La fase 3 és una fase interna que comparteix línia amb la seva predecessora, de la qual està separada per pocs metres.

Es tractaria, aparentment, del retorn a un model idèntic a l'escenari inicial. En aquell model inicial però, la capacitat de la fase 3 de 1.380 unitats/jornada no permet assolir l'objectiu de producció de 30K en 20 jornades mensuals, pel que han d'existir modificacions que un cop implantades permetin elevar aquesta quantitat més enllà de les 1.500 corones diàries.

Amb aquest objectiu, es projecten una sèrie d'accions que permetin millorar els paràmetres d'ocupació, eficàcia i eficiència de la secció.

A continuació es presenta una bateria d'accions orientades a incrementar el temps productiu o temps d'ocupació de màquina amb el propòsit que la secció no s'aturi:

- Planificació a la fase 3 d'una ocupació del 100% que garanteixi la dedicació dels operaris durant tot el temps possible de la jornada.

- A l'hora del dinar els operaris d'altres seccions no coll d'ampolla supleixen als de la fase 3 per tal que la secció no s'aturi. Cal formar aquests operaris<sup>6</sup> i pactar amb els de la fase 3 el no solapament de la seva hora de menjar amb la dels altres operaris. Es guanya una hora de producció que representen 180 unitats/jornada.
- D'igual manera, els descansos de l'esmorzar (20 minuts) i les aturades esporàdiques també són coberts per personal de seccions properes no colls d'ampolla. Aquests minuts poden traduir-se en noves corones (unes 60 unitats) però també destinar-se a les tasques de manteniment productiu programades.
- Les preparacions dels lots, tant els provinents de la fase 2 com els sortints cap al pulmó de la fase 4 es fan en paral·lel fora de línia per operaris de seccions que no són coll d'ampolla.
- Es planteja la possibilitat de realitzar hores extra a tots aquells empleats formats en la secció. Segons la mitjana de producció cada hora extra incrementarà en 180 unitats la producció diària de la fase (i de la línia sencera, donat que es tracta del coll d'ampolla).
- A comentar que l'augment de canvis d'utilatge degut a l'augment dels canvis de referència juga en contra de la producció, donat que disminueix el temps d'ús productiu, però es considera com un "mal necessari", ja que juga en favor de la flexibilitat.
- Mesures que requereixen inversió en maquinària:
- A l'estat inicial es considera que les dues premses compten en realitat com a una i mitja, degut a que no totes les referències poden corbar-se per les dues premses. Per a incrementar la flexibilitat de les premses, s'adapten les ambdues per a que puguin treballar el màxim de diàmetres possibles, centrant-se aquesta millora en les corones amb més demanda.
- Inversions en una nova premsa resulta complicat, no només per la vessant econòmica, sinó també per motius de layout. És complicat trobar una possible ubicació dins de la planta.

A la taula següent es pot veure la comparació entre l'estat inicial i el model analitzat ara per a les característiques que defineixen la producció de la fase 3.

Característica	Estat inicial	Model dins de línia	Comentari
Temps cicle	30"	30"	No existeix millora en l'eficiència de les premses
Nº operaris	1 / torn	1 / torn	-
Nº premses	1,5	1,5	-
Temps preparació	15 minuts	5 minuts	Es redueix el temps necessari per canviar l'utilatge de la premsa per a una nova referència gràcies a la participació d'operaris de fora de la fase per les tasques offline
Nº torns	1	1	No varia aquest aspecte
Temps disponible	720 minuts	810 minuts	Es guanya una hora productiva del temps de dinar dels operaris (1h / 1,5 recursos = 1,5h)
Temps d'ús	690 minuts	772,5 minuts	S'inverteix més temps en canvis d'utilatge a cada premsa
Nº canvis referència	2	5	Es guanya en flexibilitat, es passa de produir 4 referències a fer 10 de diferents de mitjana (en lots de 150 unitats)
Unitats / hora	180	180	En cas de produir durat hores extra, es produiria un increment de 180 corones (120 / recurs)
Unitats / dia:	1.380	1.545	S'arriba a l'objectiu de 1.500 unitats

TAULA 40, COMPARACIÓ DE CARACTERÍSTIQUES DE LA FASE 3 ENTRE EL MODEL I L'ESTAT INICIAL

Tal i com s'indica al quadre, es poden sobrepassar les 1.500 unitats diàries, i cada hora extra que es planifiqui aportarà altres 180 unitats més. S'assoleix l'objectiu de les 30K unitats mensuals.

<sup>6</sup> Veure apartat sobre el pla de polivalència de personal corresponent a aquest model.

## BUFFER:

La fase anterior al coll d'ampolla ha de proporcionar un pulmó de material per tal de garantir que la producció no s'aturi per manca de material.

	capacitat producció diària	capacitat producció mensual	ocupació prevista	pulmó objectiu = 1 jornada	cost unitari	cost objectiu total	Estoc real generat	cost real generat
Nº1 ENTRADA	-	-	-	-	0,1	-	-	-
Nº2 TALLAR	2.887	57.740	52,0%	1.500	0,2	300	1.545	309
Nº3 CORBAR	1.545	30.900	97,1%	1.500	0,2	300	1.545	309
Nº4 SOLDAR	2.754	55.080	54,5%	1.500	0,3	450	1.545	463,5
Nº5 TREMPAR	12.777	255.540	11,7%	1.500	0,4	600	1.545	618
Nº6 Col·locar TAPA	2.850	57.000	52,6%	1.500	0,4	600	1.545	618
Nº7 Soldar TAPA	3.450	69.000	43,5%	0	0,6	0	0	0
Nº8 Pintar	1.575	31.500	95,2%	1.500	0,7	1.050	10.000	7.000
Nº9 Tampografia	3.450	69.000	43,5%	1.500	0,9	1.350	1.138	1.024,2
Nº10 Empaquetar	2.280	45.600	65,8%	0	1	0	0	0
Nº11 Expedició	10.000	200.000	15,0%	1.500	1	1.500	1.545	1.545
TOTALS	1.575	31.500	-	12.000	-	6.150	20.408	11.886,7

TAULA 41, RELACIÓ ENTRE CAPACITATS I PULMÓ DE LES FASES A DINS DE LÍNIA

La secció de tall té suficient capacitat per a generar el pulmó de seguretat de 1.545 unitats necessari per a la fase 3. No generarà més estoc que aquest.

Amb les modificacions realitzades a la fase 3 es pot assolir l'objectiu de 30K unitats mensuals, però no deixa d'ocupar la posició de coll d'ampolla de la línia. Per tal d'abandonar aquesta condició, es necessita sobrepassar la xifra de 1.575 unitats diàries que corresponen a la fase 8 de pintura.

La mitjana de l'estoc generat a quasi totes les fases s'ajusta a les 1.545 unitats, què és el nou límit de la capacitat productiva de la fase 3. És així excepte per la fase 8, a on continua mantenint-se el supermercat de corones.

Com a la resta de models, les fases no coll d'ampolla dediquen el seu excés de capacitat a realitzar tasques d'altres fases.

Igualment, es planifiquen les fases 6 i 7 per a treballar en continu, com les fases 9 i 10.

## ROPE:

La corda de la línia està representada en aquest model també per la funció del Kanban de la fase 8.

Les targes del sistema Kanban generades a la fase 8 es fan arribar a la fase 2 de la línia. La intenció és que el buffer que alimenta la fase 3 estigui compostat exactament pel material que necessiten els clients, no per una previsió que podria ser més o menys encertada.

En el següent punt es desenvolupa el funcionament de la gestió d'aquest Kanban.

## GESTIÓ KANBAN DEL SUPERMERCAT DE LA FASE 8

En quant a la gestió Kanban del supermercat de la fase 8, no existeix diferència amb allò comentat en el model anterior de l'externalització a dins de la província:

- Físicament, s'adopten els nous contenidors amb les noves etiquetes i targes.
- El volum de material és idèntic i es corregirà periòdicament amb el consum de les targes.
- El Kanban és del tipus *producció*.
- Les targes originades al Kanban de la fase 8 són enviades directament a la fase 2 i allà actuen com a Ordres de Treball.

Aquest sistema, respecte a l'estat inicial, proporciona:

- Una reducció significant de l'inventari, tot maximitzant el flux de material.

- Un augment significatiu de la facilitat en la gestió, ajustant completament la producció a la demanda real del mercat. No és necessari treballar amb previsions de producció a llarg termini.

#### PROGRAMA DE POLIVALÈNCIA DEL PERSONAL

El pla de polivalència del personal es defineix tal i com s'ha plantejat a la resta de models proposats. A la taula següent es comproven quines fases hauran de rebre ajuda i quines poden oferir-la per a assolir una producció objectiu de 30K corones. La planificació dels recursos es realitza tenint en compte aquestes necessitats, per una banda i, per l'altra, la distribució de la formació dels operaris.

Fase productiva	Capacitat producció diària	Capacitat producció mensual	Ocupació prevista	Característica de la fase	Accions derivades
Nº1 ENTRADA	-	-	-	Recurs compartit amb altres línies	Depèn del càlcul de la seva càrrega total
Nº2 TALLAR	2.887	57.740	52,0%	Sobre capacitat	Prestarà ajut a altres fases
Nº3 CORBAR	1.545	30.900	97,1%	Al límit	Rebrà ajut
Nº4 SOLDAR	2.754	55.080	54,5%	Sobre capacitat	Prestarà ajut a altres fases
Nº5 TREMPAR	12.777	255.540	100%	Externalitzada	-
Nº6 Col·locar TAPA	2.850	57.000	52,6%	Treball en continu per a un sol operari	Prestarà ajut a altres fases
Nº7 Soldar TAPA	3.450	69.000	43,5%		Prestarà ajut a altres fases
Nº8 Pintar	1.575	31.500	95,2%	Al límit	Rebrà ajut
Nº9 Tampografia	3.450	69.000	43,5%	Treball en continu per a dos operaris	Prestarà ajut a altres fases
Nº10 Empaquetar	2.280	45.600	65,8%		Prestarà ajut a altres fases
Nº11 Expedició	10.000	200.000	15,0%	Recurs compartit amb altres línies	Depèn del càlcul de la seva càrrega total

TAULA 42, PERCENTATGE D'Ocupació PREVISTA PER FASES

La taula mostra l'índex d'ocupació de les fases, de manera que es pot determinar quines presenten capacitat sobrant per tal de prestar recursos a seccions més saturades.

La fase 5 es mostra en gris i amb una ocupació fictícia del 100% només per a indicar que no té la possibilitat de deixar operaris. Per a aquesta fase la capacitat és elevada i l'ocupació s'adapta als requeriments productius de la línia.

Com en els altres models, la càrrega de les fases 1 i 11 depèn també d'altres seccions, pel que no és possible valorar amb aquesta taula si els seus recursos es poden ocupar en ajudar altres seccions.

#### 4) SUPERACIÓ DE LA RESTRICCIÓ DEL SISTEMA ELEVANT LA SEVA CAPACITAT:

El model de producció a dins de la línia concentra els esforços de les diverses seccions per tal d'ajudar la fase 3 i incrementar la producció fins a les 1.545 unitats. Garantint que la fase 3 no s'aturi durant la jornada s'aconsegueix assolir l'objectiu proposat de les 1.500 unitats diàries. A més, gràcies a la planificació d'hores extra s'ha aportat la possibilitat d'incrementar aquesta producció a raó de 180 unitats cada hora extra.

Segons això doncs, i donada la configuració de la línia, només es pot superar aquest coll d'ampolla planificant alguna hora extra. Es pot considerar que es tracta d'una superació del coll d'ampolla poc robusta, donat que altres seccions han de complementar-lo. En aquest cas, amb una hora extra diària s'arriba a les 1.725 unitats que corresponen a 34.500 unitats mensuals. Aquestes xifres porten a la fase 3 a deixar de comportar-se com el coll d'ampolla de la línia ja que hi ha recursos més limitats.

En el quadre a continuació es representen totes les fases ordenades per capacitat, de manera que es pot comprovar que el següent coll d'ampolla es tractaria de la fase nº8 de pintura.

nº ordre	Número de Fase	Unitats / torn	Unitats / mes
1	Nº8 Pintar	1.575	31.500
2	Nº3 CORBAR	1.725	34.500
3	Nº10 Empaquetar	2.280	45.600
4	Nº4 SOLDAR	2.754	55.080

nº ordre	Número de Fase	Unitats / torn	Unitats / mes
5	Nº6 Col·locar TAPA	2.850	57.000
6	Nº2 TALLAR	2.887	57.740
7	Nº7 Soldar TAPA	3.450	69.000
8	Nº9 Tampografia	3.450	69.000
9	Nº11 Expedició	10.000	200.000
10	Nº5 TREMPAR	12.777	255.540

TAULA 43, FASES PRODUCTIVES ORDENADES PER CAPACITAT DE PRODUCCIÓ

Malgrat tot, s'observa que la fase 3 tan sols cau fins la segona posició de la taula de capacitats, mentre que en els models presentats anteriorment s'havien assolit capacitats bastant més elevades:

Model	Unitats diàries	Unitats mensuals	Posició dins la taula de capacitats (a on 1 és la mínima capacitat i 10 la màxima)
Estat inicial	1.380	27.600	1
Externalització Àsia	9.200	184.000	7
Externalització dins província	8.460	169.200	8
Dins de línia	1.725	34.500	2

TAULA 44, COMPARATIVA DE CARACTERÍSTIQUES FASE3 ENTRE ELS MODELS PRESENTATS

## 5) SI LA LIMITACIÓ S'HA SUPERAT, TORNAR A REALITZAR EL CICLE DES DEL PAS NÚMERO 1)

Tal i com mostra la taula de l'apartat anterior, quan la limitació ha estat superada, es torna revisar la línia novament per a detectar quina fase serà el nou coll d'ampolla.

En el cas que, per exemple, es continués invertint encara més hores extres a la fase nº3 s'estarien malbaratant els recursos per sobreproducció, ja que el coll d'ampolla se situarà en les 1.575 unitats que és capaç de produir la fase nº8 de pintura.

## ANÀLISI DE COSTOS DEL MODEL DINS DE LÍNIA

Es presenta a sota la simplificació de l'impacte dels costos que es produeixen per tal de completar l'estudi comparatiu entre els diferents models. Cal recordar que no s'han calculat els costos financers derivats de l'activitat i s'han considerat tots els costos fixos com a termes constants invariables. A la següent taula es resumeix l'exercici:

Tipus	Descripció	Estat inicial	Unitats mensuals	Cost unitari	Cost anual estat inicial
Matèria primera	Fleix d'acer en palets.	Objectiu de producció de 30k unitats.	30.000	0,1	36.000
	Tapes de corona mecanitzades.	Objectiu de producció de 30k unitats.	30.000	0,2	72.000
Personal	Indirecte compartit (Administració, RRHH, Comercial, etc.) Puja la dedicació pel contracte amb Àsia	3 persones, amb una dedicació aproximada del 40% (3 x 0,4)	1,2	20.000	24.000
	Directe (supervisor, operaris, personal temporal)	Nº operaris en producció.	6,2	20.000	124000
Producció	Cost fix de producció	Amortitzacions d'equipaments, maquinaria existent, immobilitzat, etc.	constant	constant	constant
	Cost variable de preparació	Depenent de la producció.	259	1	3.108



Tipus	Descripció	Estat inicial	Unitats mensuals	Cost unitari	Cost anual estat inicial
	Cost variable de producció externa	2 lots setmanals de la Fase 5.	8,66	150	15.588
	Cost variable de producció interna	Depenent de la producció.	733	3	26388
	Cost variable recuperació de peça	Tendeix a zero, ja que hi ha un rebuig menor al 0,002%.	0	depèn de la fase	0
Qualitat	Cost variable inspecció després producció	Per una banda, l'autocontrol de l'operari en la pròpia manipulació del material durant la producció. Per l'altra, existeixen contractes de qualitat concertada amb els proveïdors.	0	depèn de la fase	0
	Cost variable inspecció després recuperació peça	Tendeix a zero, ja que hi ha un rebuig menor al 0,002%.	0	depèn de la fase	0
	Cost variable de rebuig definitiu	Tendeix a zero, ja que hi ha un rebuig menor al 0,002%.	0	depèn de la fase	0
Transport	Cost fix de transport a client/proveïdor	Constant corresponent a amortització de la flota.	constant	constant	constant
	Cost variable de transport a client	Calculat al capítol de transport extern.	20	8	1.920
	Cost variable de transport a proveïdor	Calculat al capítol de transport extern. Dos lots, 4 viatges, a la setmana de la fase 5.	17,33	30	4.317,6
	Cost variable de transport intern	Calculat al capítol de transport intern.	6,55	10	786
Emmagatzematge	Cost fix de l'emmagatzematge	Considerat constant corresponent amortització instal·lacions, etc.	constant	constant	constant
	Cost variable durant la producció	Número de corones d'inventari pel seu valor corresponent segons la fase (a més valor afegit, més cost)	48.863	depèn de la fase	114.932,4
	Cost variable durant recuperació de peça	Tendeix a zero, ja que hi ha un rebuig menor al 0,002%.	0	depèn de la fase	0
	Cost variable durant el temps d'entrega	Número de corones d'inventari pel seu valor corresponent segons la fase (a més valor afegit, més cost)	2.000	1	24.000
Manteniment	Cost variable per la producció	Manteniment preventiu programat, depèn de la producció.	2	250	6.000
	Cost variable per recuperació de peça	Tendeix a zero, ja que hi ha un rebuig menor al 0,002%.	0	depèn de la fase	0
				<b>Total</b>	<b>453.040</b>

TAULA 45, RESUM DE LA RELACIÓ DE COSTOS ASSOCIADA AL MODEL INTERN A LA LÍNIA

Comentaris respecte a la taula:

- Com en anteriors models, als costos compartits amb altres recursos se'ls ha aplicat un factor de multiplicació del 0,4 degut a que les corones representen un 40% de la facturació.
- Tanmateix, als costos de qualitat, el tipus del producte i la manipulació durant les diferents fases no provoca rebuig de material pel que es consideren uns costos de qualitat tendents a zero.
- Tampoc es veuen reflectits en el present estudi els costos per manca d'existències, ni els provocats per l'impacte que aquests trencaments d'estoc tenen en la fidelitat dels clients i en la imatge de la marca.
- Els costos de transport extern disminueixen respecte al model d'externalització de la fase 3 externa dins la província, però augmenten respecte al del model inicial degut a que els viatges setmanals al proveïdor extern es dupliquen (el lot retorna a planta a l'endemà en comptes d'esperar el següent enviament) per la política de maximitzar el flux de material i abaixar el Lead Time.
- En quant als costos de qualitat, el tipus del producte i la manipulació durant les diferents fases no provoca rebuig de material pel que es consideren uns costos de qualitat tendents a zero.
- Els costos variables d'emmagatzematge es redueixen significativament degut a la reducció d'inventari en curs entre fases: són la meitat dels de l'estat inicial i un 3% menys que els del model anterior d'externalització a dins la província.

- Tenint en compte el cost total, el present model representa només el 66% dels costos del model inicial i només la meitat (51,3%) del cost de produir a l'Àsia.

## 9. LÍNIA DE SERRA DE MÀ

### 9.1. SITUACIÓ INICIAL

Tal i com ha estat comentat en l'apartat dedicat a l'estat inicial de la planta, dins de la línia de serra de mà existeixen quatre processos diferents, les quals diferencien segons el material del que està composta la serra:

- 1.1. acer ràpid; (objectiu 5.000 unitats/mes)
- 1.2. carboni d'elaboració pròpia; (objectiu 75.000 unitats/mes)
- 1.3. carboni ja elaborat, acer súper ràpid, bimetal·l; (objectiu 32.500 unitats/mes)
- 1.4. crom i wolframi. (objectiu 15.000 unitats/mes)

De la mateixa manera que a la línia de corones, per analitzar la situació inicial de la línia de serra de mà s'utilitza l'eina del Value Stream Mapping i un esquema del layout de la planta a on es representen els quatre processos. La planificació de la producció segueix un sistema Pull (tret la primera fase) que segueix les consignes marcades per la cartera de comandes. Les característiques s'analitzen a continuació:

#### ANÀLISI FASE A FASE

De l'anàlisi fase a fase extraïem la següent informació amb l'ajuda del Value Stream Map:

Fase 1, entrada matèria primera: fase comuna a totes les serres

- Planificació del tipus Push basada en l'històric de comandes del client.
- Es rep material del proveïdor (fleix, fulles i els blisters pels acabats, a banda de les pintures corresponents), es dona d'alta al sistema informàtic i s'emmagatzema a l'àrea de matèria primera corresponent.
- La política de compres provoca que l'entrada de material sigui en lots grans i amb una periodicitat aproximada d'uns dos mesos.
- Genera el magatzem de matèries primeres que es representa al VSM com un del tipus supermercat.

Fase 2, Fresar i Trempar: només serres del tipus 1.2.

- Planificació del tipus Pull basada en el consum real de la cartera de comandes.
- El material s'agafa del magatzem de matèria primera.
- El lot es compon per quatre bobines de fleix corresponents a un sol tipus de material i de dentat.
- El material passa a formar part del pulmó de la fase 3.

Fase 3, Tallar: fase comuna a les serres del tipus 1.1. i 1.2. a on ja es tallen les bobines de fleix per aconseguir els segments de 30 cms de llargada.

- Planificació del tipus Pull basada en el consum real de la cartera de comandes.
- El material prové, segons la comanda, d'un dels dos punts:
- el magatzem de matèria primera en el cas de les serres del tipus 1.1.
- el pulmó de material produït per la fase 2 en el cas de les serres tipus 1.2.
- El lot es compon per una bobina de fleix, de la que s'extrauen les serres necessàries per a completar la comanda. Si queden metres sobrants es guarda la bobina.
- El material passa a formar part d'un dels dos pulmons:
- el pulmó de la fase 4 en el cas de les serres del tipus 1.1.
- el pulmó de material de la fase 7 en el cas de les serres tipus 1.2.

Fase 4, Fresar: només per a les serres del tipus 1.1.

- Planificació del tipus Pull basada en el consum real de la cartera de comandes.
- El material s'agafa del pulmó de material produït per la fase 3.
- El lot es compon d'un bloc de fins a 250 unitats de la mateixa referència que es fresaran amb el mateix tipus de dentat.
- El material passa a formar part del pulmó de la fase 5.

Fase 5, Trempar: només per a les serres del tipus 1.1.

- Planificació del tipus Pull basada en el consum real de la cartera de comandes.
- El material s'agafa del pulmó de material produït per la fase 4.

- El lot es compon per a fins a 5.000 unitats, que és la capacitat màxima del forn industrial. Poden introduir-se qualsevol tipus de serres en un mateix lot, ja que és el mateix tractament tèrmic per a totes les unitats.
- El material passa a formar part del pulmó de la fase 7 de pintura.

Fase 6, Pintat per immersió: només per a les serres del tipus 1.4.

- Planificació del tipus Pull basada en el consum real de la cartera de comandes.
- Les serres, ja conformades pel proveïdor, s'agafen del magatzem de matèria primera.
- El lot es compon per a fins a 50 unitats, que és la capacitat màxima del contenidor. Òbviament, un lot comparteix el color. Poden ser de diferent tipus (no es fa a la pràctica per a evitar confusions) o clients (és habitual que dos client diferents comparteixin el mateix color i només es diferenciïn en la tampografia).
- El material pintat i assecat passa a formar part del pulmó de la fase 8 de Tampografia.

Fase 7, Pintat per pistola a la cadena: compartit per les serres del tipus 1.1; 1.2; i 1.3.

- Planificació del tipus Pull basada en el consum real de la cartera de comandes.
- Segons el tipus de material les serres s'agafen:
- pel tipus 1.1. del pulmó de producte generat per la fase 5,
- pel tipus 1.2.: del pulmó de producte generat per la fase 3,
- pel tipus 1.3.: del magatzem de matèria primera: ja conformades pel proveïdor,
- El lot es compon per tantes serres com es necessiti pintar del mateix color dins de la jornada o jornades successives. Les serres poden ser de diferent referències (caldrà distanciar-les a la cadena una mica per a diferenciar-les i evitar confusions) o clients (és habitual que dos client diferents comparteixin el mateix color i només es diferenciïn en la tampografia).
- El material passa a formar part del pulmó de la fase 8 de Tampografia.

Fase 8, Tampografia: compartit per totes es serres.

- Planificació del tipus Pull basada en el consum real de la cartera de comandes.
- Les serres s'agafen de:
- el pulmó de producte generat per la fase 6, cas de les serres tipus 1.4.
- el pulmó de producte generat per la fase 7, cas de la resta de serres.
- El lot es compon per tantes serres com es necessiti tampografiar del mateix client dins de la jornada. Poden ser de diferent tipus (caldrà separar-les en diferents caixes i identificar-les per a evitar confusions).
- El material s'encaixa i es paletitza i passa a formar part del pulmó de la fase 9 de Empaquetat.

Fase 9, Empaquetat: compartit per totes es serres. És una tasca externalitzada a una empresa propera.

- Planificació del tipus Pull basada en el consum real de la cartera de comandes.
- Les serres encaixades, identificades i paletitzades viatgen al proveïdor. També viatgen al proveïdor els blisters i la resta de components corresponents.
- El lot es compon per serres de diferents tipus i diferents clients.
- A diari es rep la producció del dia anterior encaixada i amb la corresponent etiqueta d'identificació amb el tipus, la quantitat i el client destinatari.
- El material passa a formar part del pulmó de la fase 10 d'expedició de material.

Fase 10, Expedició producte acabat: compartit per totes es serres.

- Planificació del tipus Pull basada en el consum real de la cartera de comandes.
- Les serres encaixades, identificades i paletitzades viatgen al client. El servei de transport està subcontractat i és comú a la resta de línies productives.
- Es fan expedicions a diari.

93

## INDICADORS DEL VISUAL STREAM MAP

A la taula següent s'extrauen les dades més significatives de l'esquema del VSM corresponent a l'estat inicial. Aporten una quantificació objectiva de l'eficiència de l'estat inicial, tot indicant el Lead Time, el temps de creació de valor i l'inventari del material en curs.

Indicador	Procés tipus 1.1.	Procés tipus 1.2.	Procés tipus 1.3.	Procés tipus 1.4.
Temps d'entrega o Lead Time (dies)	26	18	11	9
Temps total de creació de valor (hores)	5,17	6,84	0,34	0,02
Inventari de corones a la línia -WIP- (unitats)	35.250			

TAULA 46, MODEL INICIAL DE SERRES DE MÀ, RELACIÓ ENTRE INDICADORS VSM I PROCESSOS.

Al igual que a la línia de corones, pel Lead Time en aquesta línia de serres de mà s'han de tenir en compte altres 28 dies de mitjana més, que són els dies que el material passa al magatzem de matèria primera. En la taula no estan representats aquests dies.

Respecte al material entre fases, també s'ha de comentar que, de les 171.138 unitats de mitjana mensual, el 78% correspon al material dins del magatzem de matèria primera, les 35.250 restants es troben en els diferents pulmons de la línia segons es llegeix al VSM.

S'observa que els temps de creació de valor són força dispars entre els diferents processos.

### 9.2.ASPECTES A FAVOR:

#### PLANIFICACIÓ PULL EN TOTES LES FASES:

El sistema ja parteix de sortida amb un sistema de planificació Pull en totes les fases descrites, excepte la primera fase d'aprovisionament de material. D'aquesta manera, es guanya en flexibilitat a la línia des de la fase nº2, ja que la producció s'adapta totalment a les necessitats del mercat.

### 9.3.ASPECTES EN CONTRA:

#### COMANDES DE GRANS QUANTITATS D'UNITATS:

La gran capacitat d'alguna de les fases de producció convida a resoldre comandes de moltes unitats amb el llançament d'un gran lot unificat. Quan aquests lots de grans magnituds passen per les fases amb menys capacitat de la línia, provoquen que hi hagi una dedicació completa a aquest lot i d'altres comandes hagin d'esperar més d'allò planificat i acabin servint-se tard al client. Aquests grans lots provoquen també problemes d'espai a les zones d'emmagatzematge.

#### RECURSOS COMPARTITS PER DIVERSOS PRODUCTES:

En una sola línia comparteixen recursos quatre tipus de productes diferents. No totes les serres passen per totes les fases, i no totes passen per les mateixes. Per tal que els quatre tipus de corones no acabin tenint el mateix Lead Time cal crear mecanismes per a compartir el recursos de manera eficaç.

#### 9.4. APLICACIÓ DE LA TEORIA DE LES LIMITACIONS A LA LÍNIA DE SERRES DE MÀ

A continuació es desenvolupa el model proposat per la Teoria de les Limitacions per tal de gestionar la millora continua en la secció de serres de mà. Com s'ha vist al punt a la línia de corones, es tracta de cinc punts que es mostren en els apartats següents:

##### 1) IDENTIFICACIÓ DEL COLL D'AMPOLLA:

L'exercici de definició del coll d'ampolla que es proposa a la següent taula compara les capacitats actuals amb l'objectiu de producció fixat.

Fases	Capacitat actual producció diària	Ocupació prevista del recurs	Objectiu producció diària
Nº1 ENTRADA	27.600	23,1%	6.375
Nº2 FRESAR I TREMPAR	5.328	70,4%	3.750
<b>Nº3 TALLAR</b>	<b>3.075</b>	<b>130,1%</b>	<b>4.000</b>
Nº4 FRESAR	1.893	13,2%	250
Nº5 TREMPAR	5.000	5,0%	250
Nº6 PINTURA IMMERSIÓ	2.091	35,9%	750
Nº7 PINTURA CADENA	6.000	93,8%	5.625
Nº8 Tampografia	7.200	88,5%	6.375
Nº9 Empaquetar	24.600	25,9%	6.375
Nº10 Expedició	27.600	23,1%	6.375

TAULA 47, SERRES DE MÀ, CAPACITATS I PERCENTATGES D'Ocupació PER FASES

Amb les dades extreïdes del VSM, es pot comprovar que la fase 3, del tall de fleix, queda en una destacada posició i es mostra com a clar coll d'ampolla de la línia. Amb aquesta capacitat la premsa només es pot fer càrrec del 75% de les 4.000 unitats establertes com a objectiu.

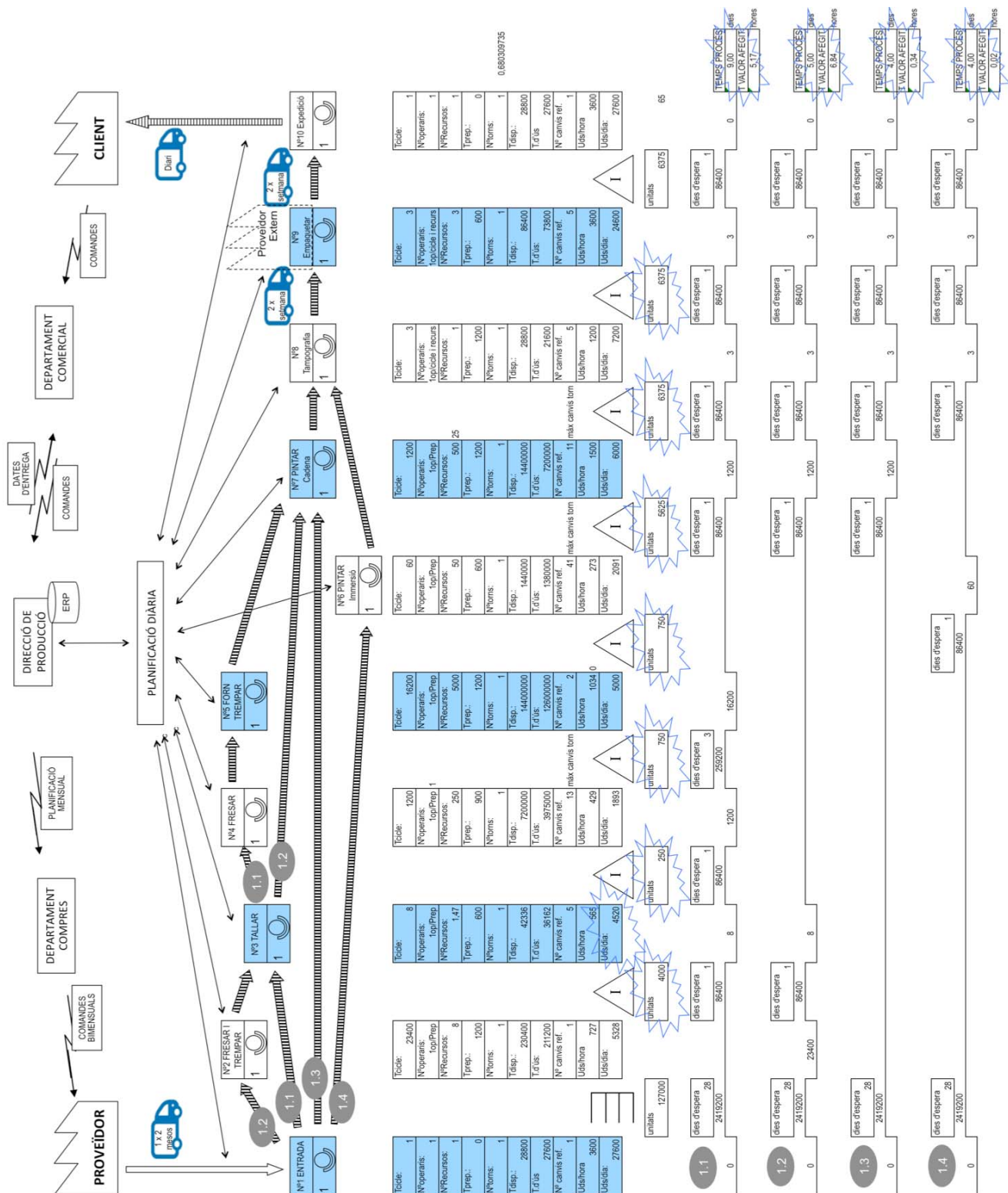
Per altra banda, s'observa un alt índex d'ocupació que mostren les fases 7 i 8. Ambdós són susceptibles de convertir-se en eventuais colls d'ampolla en cas d'avaria, per exemple.

##### 2) DECISIÓ SOBRE COM EXPLOTAR EL COLL D'AMPOLLA:

De l'anàlisi de la línia de serres de mà i de l'experiència amb l'estudi realitzat en el capítol referent a la línia de corones, resulta senzill aquest cop trobar un recurs d'identiques característiques a les del coll d'ampolla: la premsa de tall de fleix utilitzada a la línia de corones. Consultant el model VSM de corones corresponent a la implementació de la TOC, es pot comprovar que la premsa de tall de fleix de la fase 2 de corones té una ocupació prevista d'un 52% per a un consum objectiu de 1.500 corones diàries.

Per tal que aquesta premsa de corones sigui operativa també a la línia de serra de mà, només cal fer uns ajustaments a l'alimentador de la bobina i a la matriu de tall de la premsa. L'equip de manteniment pot realitzar l'adaptació en menys d'una jornada de treball. Amb aquesta modificació realitzada, els operaris que realitzen les preparacions podran adaptar els reglatges de la premsa per a escollir tallar fleix per a corones o bé per a tallar serres de mà, en funció de les necessitats productives. El canvi del tipus de tall d'una línia a el tipus de tall per a l'altre no suposarà més temps de preparació que l'habitual.

Totes les implicacions d'aquest model es mostren a continuació, a la representació que ofereix el Value Stream Map que mostra el disseny de l'estat futur de la línia.



IMATGE 24, VSM DE SERRA DE MÀ PER A L'ESTAT FINAL PROPOSAT



## INDICADORS DEL VISUAL STREAM MAP

A l'esquema del VSM de la pàgina anterior es mostra la simulació de l'estat futur de la línia, en el que ja s'han fet les modificacions que es comentaran tot seguit. Del VSM s'extrauen les característiques més rellevants a la següent taula:

Indicador	Procés tipus 1.1.	Procés tipus 1.2.	Procés tipus 1.3.	Procés tipus 1.4.
Temps d'entrega o Lead Time (dies)	9 (-66%)	5 (-33%)	4 (-64%)	4 (-56%)
Temps total de creació de valor (hores)	5,17	6,84	0,34	0,02
Inventari de corones a la línia -WIP- (unitats)	30.500 (-13,5%)			

TAULA 48, MODEL FUTUR PER SERRES DE MÀ, INDICADORS DEL VSM

Cal sumar els 28 dies de mitjana de Lead Time ja que és el temps en que el material s'espera al magatzem de matèries primeres. No estan contemplats a la taula per a poder observar millor les diferències en aspectes productius de la línia.

S'observa que els temps de procés decreixen considerablement, entre un 33% i un 66%. Això és degut a una planificada reducció de la mida dels lots i a la disminució de l'inventari de producte en curs.

En quant a l'inventari, es redueix a cada fase fins a deixar-ho en un pulmó de només una jornada de treball. En conseqüència, el material en curs davalla en un 13,5% i el cost d'inventari en la proporció adequada. Paral·lelament, es donarà un efecte positiu en els temps de preparació i la logística, degut a l'increment de l'espai disponible i l'ordenació en planta.

El temps de creació de valor es manté amb els mateixos nivells en aquest model, donat que no s'han produït millores significatives.

### 3) SUBORDINACIÓ DE TOT A LA DECISIÓ ANTERIOR:

A continuació es recullen les accions que es prenen per a procurar que la fase 3 no s'aturi.

#### GESTIÓ DE LA PRODUCCIÓ SEGONS EL MODEL TOC: DRUM, BUFFER, ROPE.

La gestió de la producció a través del model de la Teoria de les Limitacions proposa la definició dels tres elements següents:

#### DRUM:

El *tambor* de la producció queda definit a la fase 3 de tall del fleix. Amb una capacitat de 3.075 unitats al dia, produeix només un 75% del que es té com a consigna a la línia. Una solució concreta, efectiva i amb un mínim d'inversió es troba compartint la premsa de corones, la qual pot elevar la capacitat de la línia de serres fins a unes 4.520 unitats (pels processos de serres tipus 1.1. i 1.2.). A la resta de fases s'observa una capacitat suficientment gran com per a mantenir el ritme del tambor amb una ocupació que variarà depenent del recurs.

Amb la utilització de la segona premsa es garanteix l'objectiu proposat de 4.000 unitats diàries. No obstant, en cas de necessitat i en primer terme, s'hagués pogut emprar alguna de les fórmules que s'han exposat a l'apartat de corones, com ara: cobrir els descansos de la secció amb operaris d'altres seccions no coll d'ampolla, ús d'aquests operaris pels canvi d'utilatges a les preparacions, instauració d'hores extra, etc.

A la taula següent es pot veure la comparació entre l'estat inicial i el model analitzat ara per a les característiques que defineixen la producció de la fase 3:

Característica	Estat inicial	Model dins de línia	Comentari
Temps cicle	8"	8"	No existeix millora en l'eficiència de la premsa
Nº operaris	1 / torn	1,5 / torn	En posar una altra premsa durant gairebé el 50% del temps, s'ha d'incorporar un operari
Nº premses	1	1,47	S'incorpora la premsa de corones durant quasi mitja jornada
Temps preparació	10 minuts	10 minuts	Es podria reduir el temps necessari per canviar l'utilatge de la premsa per a una nova referència

Característica	Estat inicial	Model dins de línia	Comentari
			gràcies a la participació d'operaris de fora de la fase per les tasques offline
Nº torns	1	1	No es modifica aquest aspecte
Temps disponible	480 minuts	705 minuts	Es guanya el temps que aporta la nova premsa
Temps d'ús	410 minuts	602 minuts	Es guanya el temps que aporta la nova premsa
Nº canvis referència	5	5+2	Es guanya en flexibilitat, es passa de la capacitat de produir 5 referències a fer 7 de diferents de mitjana (en el cas de tallar bobines senceres)
Unitats / hora	384	565	En cas de produir durat hores extra, es produiria un increment de 180 corones (120 / recurs)
Unitats / dia:	3.075	4.520	Increment de capacitat del 32%

TAULA 49, COMPARACIÓ CARACTERÍSTIQUES FASE 3 ENTRE MODEL INICIAL I FUTUR

Amb l'increment potencial del 32% citat a la taula, s'arriba a l'objectiu de 4.000 unitats amb escreix, de manera que no serà necessari tenir les dues premses treballant a ple rendiment. Segons aquestes xifres, s'assoleixen les 4.000 unitats ocupant el 65% del temps total de les dues premses. Prop d'un 25% estarà ocupat per la línia de corones, mentre que el restant 10% del temps restarà disponible. Aquest temps sobrant s'aprofitarà per no descuidar el manteniment productiu, el preventiu i la neteja.

#### BUFFER:

La fase anterior al coll d'ampolla ha de proporcionar un *pulmó* de material per tal de garantir que la producció no s'aturi per manca de material. En aquest cas, el material prové de dos punts diferents, definits segons els tipus de corones 1.1. i 1.2., i cal garantir que el flux de material cap a la fase 3 manté un pulmó continuament.

El *pulmó* es definirà en un principi amb un volum d'una jornada de treball. Aquesta consigna podrà pujar en base a l'experiència però mai no baixarà d'aquest volum per tal de garantir que el coll d'ampolla no s'aturi davant d'imprevistos com, per exemple, una avaria.

També es generen pulmons a la resta de fases per valor del volum de treball corresponent a una jornada de feina. Però no a una jornada de la seva capacitat nominal sinó de la producció diària objectiu. El motiu està relacionat també amb la *corda* i és doble: serveix per a no produir sistemàticament per sobre de la capacitat real de línia, permetent la mobilitat d'operaris d'aquelles seccions amb excés de capacitat cap a les fases amb menys capacitat; però també per a la detecció avançada de problemes a la línia.

La taula següent il·lustra com queden en el model proposat les ocupacions previstes per a cada fase:

Fases	Capacitat actual producció diària	Ocupació prevista del recurs	Objectiu producció diària
Nº1 ENTRADA	27.600	23,1%	6.375
Nº2 FRESAR I TREMPAR	5.328	70,4%	3.750
<b>Nº3 TALLAR</b>	<b>4.520</b>	<b>88,5%</b>	<b>4.000</b>
Nº4 FRESAR	1.893	13,2%	250
Nº5 TREMPAR	5.000	5,0%	250
Nº6 PINTURA IMMERSIÓ	2.091	35,9%	750
Nº7 PINTURA CADENA	6.000	93,8%	5.625
Nº8 Tampografia	7.200	88,5%	6.375
Nº9 Empaquetar	24.600	25,9%	6.375
Nº10 Expedició	27.600	23,1%	6.375

TAULA 50, RELACIÓ ENTRE CAPACITATS I OCUPACIÓ PREVISTA DE LES FASES

Segons aquestes xifres, les fases anteriors al coll d'ampolla poden garantir l'abastiment de material per a que aquest no s'aturi. Es pot comprovar també com les fases 7 i 8 queden amb uns nivells d'ocupació elevats.

## ROPE:

La *corda* de la línia de serres de mà en aquest model proposat queda en estreta relació amb els pulmons de la línia. El mecanisme de regulació de la línia serà el propi nivell dels pulmons definits a cada fase. El volum del pulmó és equivalent a una jornada de producció de l'objectiu. Aquests pulmons entre fases resulten un sistema de control fiable, visible i a prova de trencaments d'estoc, ja que proporcionen una jornada d'estoc de seguretat davant dels imprevistos. Paral·lelament, es garanteix que no es produirà per sobre de la capacitat de la línia i que els recursos sobrants poden ser emprats en tasques amb menys capacitat, ja sigui en aquesta línia de producció o en una altra.

Altres aspectes positius del sistema de *corda* relacionada als *pulmons* a cada fase són:

- La implantació és fàcil i immediata, tan econòmica com que fa estalviar directament costos en concepte d'inventaris i de malbaratament per sobreproducció i Visual.
- Es tracta d'un sistema molt visual, intuïtiu i fàcilment interpretable per tothom a la planta.
- El control i la gestió es fan molt senzills i permet que els operaris en participin i s'involucrin en la planificació.

### 4) SUPERACIÓ DE LA RESTRICCIÓ DEL SISTEMA ELEVANT LA SEVA CAPACITAT

El model proposat supera la restricció de la fase 3 elevat la seva producció fins a les 4.000 unitats diàries. Segons les xifres extretes del VSM i representades a la taula següent, es pot observar que la fase 3 passarà a una ocupació prevista d'un 88,5%, pel que encara es manté a la part alta, junt amb les fases més saturades:

nº ordre	fase	capacitat producció diària	capacitat producció mensual	ocupació prevista
<b>10</b>	<b>Nº7 PINTURA CADENA</b>	<b>6000</b>	<b>120000</b>	<b>93,8%</b>
9	Nº8 Tampografia	7200	144000	88,5%
8	Nº3 TALLAR	4520	90400	88,5%
7	Nº2 FRESAR I TREMPAR	5328	106560	70,4%
6	Nº6 PINTURA IMMERSIÓ	2091	41820	35,9%
5	Nº9 Empaquetar	24600	492000	25,9%
3	Nº1 ENTRADA	27600		23,1%
4	Nº10 Expedició	27600	552000	23,1%
2	Nº4 FRESAR	1893	37860	13,2%
1	Nº5 TREMPAR	5000	100000	5,0%

TAULA 51, FASES ORDENADES PER OCUPACIÓ PREVISTA

També s'observa que la resta assoleix els objectius productius però amb diferències importants en quant a ocupació, amb una fase de pintura prop del 95% i un forn de trempat infrautilitzat amb només un 5%.

Si s'analitza només l'increment de la capacitat del coll d'ampolla, aquest és del 46%, i les magnituds es poden resumir a la següent taula:

Model	Unitats diàries	Unitats mensuals	Posició dins la taula de capacitats (a on 1 és la mínima capacitat i 10 la màxima)
Model inicial	3.075	61.500	1
Model proposat	4.520	90.400	3

TAULA 52, COMPARATIVA DE CARACTERÍSTIQUES FASE 3 ENTRE ESTAT INICIAL I EL PROPOSAT

### 5) SI LA LIMITACIÓ S'HA SUPERAT, TORNAR A REALITZAR EL CICLE DES DEL PAS NÚMERO 1)

El darrer punt de la metodologia TOC convida a començar el cicle de nou. Donat que el coll d'ampolla s'ha mogut de fase, cal efectuar una nova anàlisi per a tractar-lo i superar-lo. La taula comparativa del punt anterior ja

mostra uns resultats que poden apropar-se bastant al nou model, i que deixen la secció de pintures sota el punt de mira.

Aquest punt de la metodologia, i és molt important tenir-ho present, recorda que un cop s'ha superat la restricció s'ha de cercar la nova, i no caure en l'error de continuar treballant en l'augment de la capacitat de l'anterior. És a dir, en el cas tractat, un cop assolides les 4.000 unitats/dia de l'objectiu no té sentit pujar la seva producció fins les 4.520 unitats de capacitat nominal, perquè s'incorreria en un malbaratament per sobreproducció.

## 10. IMPACTE AMBIENTAL DEL PROJECTE

Existeixen poques activitats industrials que no tinguin conseqüències sobre el medi ambient. A continuació s'inclou una breu avaluació sobre l'impacte que el desenvolupament del present projecte té sobre el medi ambient.

En primer lloc, es realitza una aproximació als aspectes mediambientals que defineixen l'activitat de la planta en el model inicial. Segons cada secció de cada línia podem representar els aspectes més importants en la següent taula:

Activitat	Energia elèctrica	Energia fòssil/ gasos.	Residus	Emissions de fums i/o vapors	Contaminació acústica
Magatzem	-	-	Palets deteriorats, cartrons, embalatges plàstics, etc.	-	-
Fresat	Motors i ús del compressor.	-	Ferralla produïda. Taladrina usada.	-	Soroll propi dels torns de fresat.
Tall per estampació	Motors i ús del compressor.	-	Ferralla i restes generades.	-	Soroll propi de les premses a cada cicle.
Encorbar per estampació	Motors i ús del compressor.	-	-	-	Soroll propi de les premses a cada cicle.
Trempat	Forns per a les fulles de mà i les corones (per corones és extern)	Propà en el cas de la serra cinta i la fulla de mà d'acer ràpid.	-	Els propis de la combustió del propà (CO <sub>2</sub> , etc) i de l'assecat al forn.	-
Soldadura	Autòmats. Motors i ús del compressor. Soldadores TIG de corones. Soldadores per arc elèctric a serra cinta.	La soldadura TIG consumeix Argó.	-	Fums produïts per les soldadores TIG i les d'arc elèctric.	Soroll propi de les soldadores a cada cicle.
Pintura	Motors i ús del compressor. Forn d'assecat.	-	Pintures a l'aigua. Dissolvents.	Els propis de la pintura i de l'assecat al forn.	-
Acabats	Motors i ús del compressor. Forn d'assecat.	-	Pintures a l'aigua. Dissolvents. Tampons de silicona vells.	Els propis de la pintura i de l'assecat al forn.	-
Transport intern i extern	Càrrega dels transpalets.	Carburant dels vehicles.	Manteniment propi dels vehicles.	Fums de combustió dels vehicles.	Pròpia dels vehicles.
Manteniment	-	Soldadures ocasionals.	Recanvis i ferralla. Lubricants.	Soldadures ocasionals.	Dependrà de l'activitat.
Oficines	Eines informàtiques.	-	Tònens d'impressora. Papers, documents comercials i materials d'oficina.	-	-

TAULA 53, RELACIÓ DELS ASPECTES MEDIAMBIENTALS SEGONS L'ACTIVITAT

S'ha de considerar també el consum d'electricitat per la il·luminació i/o l'energia fòssil usada a la calefacció i climatització per a cadascuna de les activitats de la planta.

L'empresa disposa dels corresponents permisos per a dur a terme l'activitat industrial, que permeten fer ús legalment de les matèries i els productes declarats. Tanmateix, l'empresa disposa dels permisos per realitzar les emissions a l'atmosfera corresponents a l'activitat. La recollida de tots els residus es fa a través d'empreses contractades autoritzades pel Ministeri d'Indústria sota les condicions legals pertinents.

A continuació s'exposen els detalls relacionats amb l'impacte que cadascuna de les accions proposades al present PFC tenen sobre el medi ambient. Es troben classificades segons la mateixa tipologia usada a la taula anterior:

- **Consum d'energia elèctrica:**
  - Línia de corones:
    - Model asiàtic: la creació dels grans volums d'inventari entre fases provoca que sovint es produeixi fins a la fase de pintura material no necessari. Aquest malbaratament per sobreproducció implica una despesa energètica que es podria estalviar.
    - Als altres dos models: es produeix estalvi energètic respecte al model inicial en produir només allò que es necessita realment. La implantació de la gestió TOC a la planta augmenta la flexibilitat de la producció, permetent que aquesta s'ajusti plenament a les necessitats del mercat.
- **Consum d'energia fòssil:**
  - Línia de corones:
    - Models d'externalització, a l'Àsia i a la pròpia província: l'increment dels transports externs implica el corresponent increment del consum de carburants i les corresponents emissions a l'atmosfera dels fums de la combustió. Especial atenció a l'externalització a l'Àsia, a on el producte recorre una gran quantitat de kilòmetres en vaixell (i alguns en camió).
    - Internament, model a dins de línia: es produeix un lleu increment del consum de carburant en el transport extern, donat que les corones enviades al tremp es van a buscar a l'endemà. Els viatges es dupliquen respecte el model inicial.
  - Línia de serra de mà i serra cinta:
    - Resta invariable el consum al trempat de l'acer, que es realitza amb cremadors de propà els quals generen fums de la combustió.
- **Generació de residus:**
  - Línia de corones:
    - Models d'externalització, a l'Àsia i a la pròpia província: l'increment dels transports externs implica el corresponent increment de l'ús d'embalatges i palets. Encara que es puguin reutilitzar més d'una vegada, aquests tenen una vida determinada i tard o d'hora han de ser renovats.
    - A tots els models proposats:
      - El número de peces de producció rebutjades representa molt poc volum i, les que es generen, són recuperades com a ferralla per la corresponent empresa de tractament de residus. No es considera un factor destacable.
      - La gestió més eficient de la secció de pintures comportarà l'optimització de l'ús de pintures i dissolvents usats a la neteja de la pistola de pintura.
      - Paral·lelament a l'increment dels transports, augmentarà també el manteniment dels vehicles i es consumiran més recanvis.
  - A tota la planta: l'ús d'eines de gestió visuals a la nau, com ara el Kanban o la pròpia TOC, ajudarà a economitza el paper imprès corresponent a planificacions i/o ordres de treball impreses.
- **Emissió de fums i vapors:**
  - Línia de corones:
    - A tots els models: s'incrementen les emissions per la combustió del carburant en els transports externs. Segons allò comentat en l'apartat d'energia fòssil, l'increment és molt sensible en els models d'externalització, i no tant en el model intern a dins de la línia.
- **Generació de contaminació acústica:**
  - Línia de corones:
    - Model d'externalització a l'Àsia: l'externalització de l'activitat de la fase 3 comporta una important reducció del soroll de les premses, només es produiran les urgències per trencaments d'estoc.
    - Model d'externalització a la pròpia província: com al punt anterior, es produirà una reducció significativa de l'activitat, malgrat que es manté certa producció encara.
    - Model a dins de planta: l'ús intensiu de les premses de la línia de corones comporta un increment de soroll a la secció, ocupant inclús els temps morts i descansos.
- **Risc d'accident mediambiental:**
  - A tota la planta: el risc d'accident per l'alliberació al medi de productes, sòlids, líquids o gasos, es manté invariable respecte al model inicial de la planta.

Com a conclusió dels aspectes mediambientals relacionats amb el PFC, comentar que la TOC permet una gestió de la producció ajustada a la demanda del mercat i a la capacitat de la línia, evitant el malbaratament de

l'energia en la producció de productes no prioritaris. Segons aquest raonament, resulta desitjable un inventari de productes el més ajustat possible. El model de producció de corones a dins de línia és el que proporciona un nivell més baix d'inventaris. Els models d'externalització provoquen un augment del transport amb el conseqüent augment de les emissions a l'atmosfera. En base a això es pot argumentar que la tercera solució és el model de menys impacte sobre el medi ambient.

## **11.PRESSUPOST DEL PROJECTE**

Els aspectes econòmics del present estudi han estat desenvolupats en l'apartat referent a costos dels models presentats.

Cal destacar que no s'han definit inversions en cap de les dues línies analitzades. Dins dels models analitzats mitjançant el Visual Stream Mapping s'han estudiat els processos i els recursos existents, definint els malbarataments i les possibilitats de millora.

S'ha aplicat la Teoria de les Limitacions per a crear una planificació de la producció més eficient, eliminant o reduint malbarataments de les línies, assolint les quotes de producció i reduint de manera important el Lead Time i la qualitat del servei al client.

Tot plegat es produeix també sense realitzar cap desinversió a les línies. Malgrat que, per exemple, els models "A" i "B" proposats a la línia de corones plantegen sendes externalitzacions de la fase 3 (la primera a l'Àsia i la segona a una empresa externa dins la província), aquestes no suposen la desinversió de cap dels recursos existents a la planta, ja que s'utilitzaran igualment, amb una ocupació més baixa, per tal de poder cobrir les urgències productives.

La inversió que resulta interessant dins de C&S, S.L. és la inversió en formació adequada sobre TOC i eines Lean dirigida tant als directius, com als responsables de línia i als operaris.



## 12.CONCLUSIONS

Un cop finalitzat l'estudi pràctic de les dues línies objecte de l'anàlisi, es resumeixen en el present apartat els objectius assolits pel PFC.

De manera general, es pot considerar que els resultats obtinguts a les dues línies són molt positius. S'ha aconseguit realitzar una proposta a la línia de corones que millora en 35 dies el Lead Time de l'estat inicial, reduint l'inventari un 40% i garantint la producció de 1.500 unitats diàries.

Pel que fa a la línia de serres de mà, el Lead Time s'ha reduït entre un 33% i un 66% depenent del model, assolint un augment d'un 16,9% de la producció, que garanteix els objectius de capacitat fixats.

En els punts següents es desgranen més en detall les conclusions extretes sobre els resultats obtinguts d'ambdues línies.

### 12.1. CONCLUSIONS SOBRE LA LÍNIA DE CORONES

En els apartats anteriors s'han desenvolupat les característiques corresponents als tres models proposats: externalització a l'Àsia, l'externalització a la pròpia província i la producció interna a dins de la línia. A continuació es presenten les conclusions a les que es poden arribar de l'estudi.

A la següent taula es comparen els Lead Time, els Temps de Creació de Valor i els inventaris corresponents als tres models presentats:

Indicador	Situació inicial	Externalització Àsia	Externalització dins la província	Internament, dins de línia
Temps d'entrega o Lead Time (dies)	79,61 dies	<b>161,45 dies (+81,83 dies)</b>	<b>47,45 dies (-32,17 dies)</b>	<b>44,95 dies (-34,67 dies)</b>
Temps total de creació de valor (hores)	6,69 hores	<b>6,69 hores</b>	<b>6,69 hores</b>	<b>6,69 hores</b>
Inventari de corones a la línia (i diferència amb l'inicial)	82.900 unitats (-)	<b>171.138 unitats (+88.238 unitats, +106,4%)</b>	<b>49.763 unitats (-33.136 unitats, -40% )</b>	<b>49.883 unitats (-33.016 unitats, -39,8%)</b>

TAULA 54, COMPARACIÓ ENTRE LEAD TIME I TEMPS DE PROCÉS PELS TRES MODELS

El Lead Time que s'extrau de l'estudi dels tres models es mou entre dos extrems oposats. A l'externalització de l'Àsia, augmenta fins a arribar a convertir-se en el doble, mentre que en els altres dos models de proximitat es redueixen fins a un 60% o un 56% del valor inicial. Aquesta reducció és molt significativa i resulta un factor important dins la decisió sobre quin model és el més apropiat.

En quant al temps total de creació de valor a penes es mou de les 6,69 hores, degut a que existeix un gran pes per part del trempat de l'acer, que suposa 6 hores i, encara que en menor mesura, també al procés de pintura, el qual s'emporta quasi la totalitat de la resta. Són processos aquests dos que no pateixen modificacions, pel que el temps de creació de valor no es veu reduït de manera significativa en cap dels models. Aquesta variable, doncs, no ajuda a establir diferències entre els tres models presentats.

En canvi, existeix una important diferència entre els volums d'inventari que presenten els models. En el model asiàtic s'augmenta substancialment, més del doble de l'inicial, mentre que els altres dos aconsegueixen reduir-lo un 40%. La gran reducció que d'inventari en aquests dos models comporta uns beneficis sensibles que marquen sensiblement la decisió a prendre.

La causa principal d'aquestes diferències es troba en la mida dels lots dels diferents models. En el model asiàtic es genera un inventari molt gran per tal de ser transportat a l'Àsia. En els altres models la freqüència s'incrementa i els lots poden disminuir significativament. Aquest fet incrementa la flexibilitat de la línia, que repercuteix positivament sobre el Lead Time i els nivells d'inventari. Es minimitza l'inventari i es maximitza el flux.

El layout de la fàbrica no es veu afectat per cap canvi significatiu en cap dels models. Tan sols cal destacar el volum que ocuparà l'inventari del lot de l'Àsia. En aquest model, el material ocupa àrees que en els altres models queden lliures. Això implica, entre altres efectes, més moviments logístics i menys ordre a la planta.

Els fluxos de material varien entre els models proposats, degut a que les externalitzacions han de gestionar les sortides i entrades de material. La taula següent mostra les diferències de metres recorreguts entre els diversos models i permet prendre consciència de l'impacte que les models tenen en l'àmbit de la logística dins la planta:

Procés	Distància mensual Model inicial (metres)	Distància mensual Externalització Àsia (metres)	Distància mensual Model Externalització pròpia província (metres)	Distància mensual Model dins de línia (metres)
Nº1 ENTRADA	100	100	100	100
Nº2 TALLAR	1.400	1.400	1.400	1.400
Nº3 CORBAR	800	162,5	2.600	200
Nº4 SOLDAR	400	162,5	400	200
Nº5 TREMPAR	4.000	3.600	3.600	3.600
Nº6 Colocar TAPA	400	400	400	400
Nº7 Soldar TAPA	400	160	160	160
Nº8 Pintar	5.200	5.200	5.200	5.200
Nº9 Tampografia	160	160	160	160
Nº10 Empaquetar	1.280	1.280	1.280	1.280
Nº11 Expedició	400	400	400	400
<b>TOTALS</b>	<b>14.540</b>	<b>13.025</b>	<b>15.700</b>	<b>13.100</b>
<b>Increment respecte inicial (%)</b>	-	<b>-10,4%</b>	<b>+8%</b>	<b>-8,9%</b>

TAULA 55, COMPARACIÓ DE TRANSPORTS INTERNS ENTRE ELS MODELS.

El model asiàtic redueix un 10% els metres de transport respecte a l'inicial, a costa d'acumular palets d'inventari i desplaçar-lo al proveïdor només un cop cada dos mesos. L'externalització a la pròpia província incrementa els metres un 8% degut a que el flux de material és més continu i les expedicions de la fase 3 són cada dos dies. El model a dins de línia aconsegueix reduir també un 10% els metres de transport, treballant amb un flux més continu que els altres, i reduint la quantitat d'inventaris entre fases. Es simplifica la tasca logística en la mesura que també s'incrementa l'ordre en planta.

Els transports externs impliquen uns costos que augmenten respecte al model inicial, i de manera més acusada en els models de les externalitzacions:

Procés	Cost transport anual, estat inicial (€)	Cost transport anual, extern Àsia (€)	Cost transport anual, extern pròpia província (€)	Cost transport anual, dins de línia (€)
Nº1 ENTRADA	1.200	1.200	1.200	1.200
Nº2 TALLAR	0	0	0	0
Nº3 CORBAR	0	9.000	8.318,4	0
Nº4 SOLDAR	0	9.000	0	0
Nº5 TREMPAR	3.117,6	6.238,8	6.238,8	6.238,8
Nº6 Col·locar TAPA	0	0	0	0
Nº7 Soldar TAPA	0	0	0	0
Nº8 Pintar	0	0	0	0
Nº9 Tampografia	0	0	0	0
Nº10 Empaquetar	0	0	0	0
Nº11 Expedició	4.800	4.800	4.800	4.800
<b>TOTALS</b>	<b>9.117,6</b>	<b>30.238,8</b>	<b>20.557,2</b>	<b>12.238,8</b>
<b>Increment respecte inicial (%)</b>	-	<b>+232%</b>	<b>+125%</b>	<b>+34%</b>

TAULA 56, COMPARACIÓ DE COSTOS DE TRANSPORT EXTERN ENTRE ELS 3 MODELS I L'INICIAL

En el model a dins de línia s'incrementen els costos en un 34% degut a que s'incrementa la freqüència de viatges al proveïdor de trempat. Més del doble suposa externalitzar a dins de la província i més del triple fer-ho a l'Àsia. El servei que els proveïdors externs realitzen no sempre farà justificable aquest increment de costos.

Pel que fa a la gestió de la producció a través del sistema drum – buffer – rope, en el següent quadre s'estableix un resum per a cadascun dels models amb la comparativa de la gestió de la producció segons el model de la TOC:

	Externalització a l'Àsia	Externalització a la província	Internament a dins de línia
<i>Drum o tambor</i>	L'optimització dels costos del transport a l'Àsia obliga a crear lots molt grans i a una baixa freqüència en l'entrega. El <i>tambor</i> guanya molta capacitat, però perd tota la flexibilitat. Perd també eficàcia, degut a que es basa en l'històric de vendes i no és prou flexible davant dels canvis productius. Aquests s'han de cobrir internament a la planta amb els medis propis.	El tambor guanya capacitat respecte al model inicial, però a un cost de producció més elevat que a l'Àsia. No obstant, la proximitat permet augmentar la freqüència i es pot treballar amb molta més flexibilitat: es produeix segons la demanda del mercat i les ordres del sistema Kanban.	Gràcies a l'optimització dels recursos de la línia es guanya capacitat en el tambor de la fase 3. Per tal d'arribar a l'objectiu diari s'han de coordinar recursos per a que no s'aturi el tambor. La flexibilitat és màxima, ja que es produeix segons les comandes de client que són gestionades pel sistema Kanban, i el lead time està més alineat a la demanda dels clientes, que no pas als models externs.
<i>Buffer o pulmó</i>	La fase 2 del tall té prou capacitat per a complir amb la producció mensual. No obstant, el volum del lot és molt gran i l'inventari creix fins les 60K unitats. És una quantitat molt elevada que resta flexibilitat a la línia.	Els lots són molt més petits que els de l'Àsia. Com a màxim s'acumula un inventari de 6K unitats que s'envien amb una cadència de 2 dies, permetent molta flexibilitat en cas de necessitar canviar l'ordre de producció per exigències del mercat.	La flexibilitat és màxima. Malgrat que no està establert un flux en continu, en un moment donat un lot d'una referència de corona en concret podria començar la fase 3 encara que no hagi acabat de processar-se la fase 2. A pesar d'això, es garanteix sempre el pulmó de seguretat per valor d'una jornada, gràcies a la major capacitat de la fase 2.
<i>Rope o corda</i>	El ritme de producció es trasllada aigües amunt gràcies al pla de producció del lot per a enviar a l'Àsia. Aquest sistema no es prou flexible davant les fluctuacions del mercat. La gestió del Kanban, que actua en aquest model com a corda de la gestió TOC té la funció de produir les ordres de treball urgents, en el cas de trencaments d'estoc d'alguna referència. L'elaboració d'una ordre de treball urgent (o diverses) sí podria comprometre en determinat cas la capacitat de la fase 2.	El paper de la <i>corda</i> en la gestió TOC està interpretat pel Kanban, que assegura que es produeixi a la fase 2 exactament el que el mercat necessita. Màxima flexibilitat, doncs, la que ofereix la corda del TOC.	En aquest model també el Kanban garanteix tota la flexibilitat de la producció per a que la fase 2 només talli allò que realment necessita el mercat.

TAULA 57, GESTIÓ TOC. COMPARATIVA ENTRE MODELS. CONCLUSIONS

Segons allò comentat al llarg de la present memòria, i resumit ara al quadre anterior, la gestió de la producció mitjançant la TOC resulta poc eficient en el model asiàtic en comparació als altres dos models proposats. El voluminós enviament d'inventari a l'Àsia i la seva baixa freqüència conseqüent ocasionen una manca de flexibilitat en el sistema productiu que contraresta les virtuts de la gestió TOC.

Tenint en compte tots els comentaris que s'han desgranat en el present apartat, com a conclusió del present estudi, es pot extraure que:

- L'únic avantatge que sembla aportar el primer model, d'externalització a l'Àsia, és l'enorme capacitat productiva que alimenta a la línia de corones amb un cost de producció realment molt econòmic.
- En contrapartida, a banda de l'increment en els costos de transport extern, s'ha de tenir molt en compte l'important increment en el lead time i en els inventaris de producte en curs, els quals provoquen una manca

de flexibilitat en la producció que comportarà sovint trencaments d'estoc i una davallada en el nivell de servei al client.

- També es tindrà en compte el 5é punt d'implementació de la TOC que formula que un cop superada la limitació del sistema no es continuarà incrementant la seva capacitat. Per definició, el coll d'ampolla passarà a ser una altra fase de la línia. Per tant, l'excés de producció que s'enviés a l'Àsia es consideraria com un malbaratament. Amb això, s'ha de tenir en compte que, encara que el proveïdor pugui oferir un augment productiu de grans magnituds, la fase 3 produïda a l'Àsia no estarà mai per sobre de la quantitat objectiu que es marqui amb el futur coll d'ampolla.
- El segon model, d'externalització dins de la província, permet una ampliació equilibrada de la capacitat productiva de la fase 3. El model s'adapta a la flexibilitat que la gestió Kanban ofereix, mantenint el lead time i uns inventaris força ajustats. Es garanteix una producció plenament relacionada a la demanda real i es millora el nivell de servei evitant en gran mesura els trencaments d'estoc. En contrapartida, lògicament s'incrementen els transports interns i externs de material.
- El model de producció completament interna maximitza el flux de material i minimitza els inventaris. És el model que ofereix un lead time més curt i uns inventaris més baixos, adaptant-se plenament a les fluctuacions del mercat. No obstant, per aconseguir l'augment de la producció requerida s'han de gestionar la resta de recursos de la planta amb capacitat sobrant. Amb l'aplicació de la TOC és perfectament factible, però per aconseguir un increment substancial s'ha de recórrer a alguna hora extra dins de la fase, cosa que potser no sempre serà possible.
- Es pot arribar a concloure finalment que qualsevol de les dues darreres opcions semblen perfectament vàlides, sense menystenir la possibilitat de formar un tàndem entre les dues opcions. Tant el model d'externalització a la província com el model intern ofereixen valors de lead time, volums d'inventari i costos acceptables.

En un entorn socioeconòmic canviant com és l'industrial resulta interessant l'opció de dividir la producció entre els dos models. Per una banda, la creació de lligams amb proveïdors pot ser una via de futur que porti noves solucions, tant quantitatives com qualitatives. Per altra banda, el fet de no abandonar la producció permet certa independència en els moviments i manté oberta la possibilitat de fer reversible el procés d'externalització. Tot plegat, permet establir una ampliació de la capacitat productiva de manera robusta (redundant en l'actual coll d'ampolla) i una major flexibilitat a la línia.

Segons allò comentat a l'anterior paràgraf, i sense haver trobat cap conclusió negativa sobre cap dels dos models B i C, la decisió final és política i/o estratègica per a l'empresa: B o C, o un tàndem entre tots dos.

## 12.2. CONCLUSIONS SOBRE LA LÍNIA DE SERRES DE MÀ

La metodologia TOC ha permès definir el coll d'ampolla, descriure les oportunes millores en la línia i superar la restricció del procés, tot garantint que la línia assoleixi la capacitat per a produir la quantitat objectiu de 127.500 unitats mensuals de serra de mà.

Per a incrementar la capacitat del coll d'ampolla s'ha utilitzat la premsa de tall de corones, què passarà a compartir-se amb aquesta altra línia. D'aquesta manera, la fase 3 passa d'una producció de 3.075 unitats de l'estat inicial a les 4.000 unitats de l'objectiu diari dins del model proposat. Això suposa un increment d'un 30% de la capacitat de la fase, que es tradueix en un 16,9% de la línia. Encara que la capacitat nominal ha pujat fins a les 4.520 unitats/dia, no es produirà aquesta xifra per no generar un excedent d'estoc. Com s'ha actuat en el coll d'ampolla del procés, es pot afirmar que cap acció sobre cap altra fase hagués pogut incrementar la producció de la línia.

La millora de la capacitat de la fase de tall afecta a les serres del tipus 1.1. i 1.2. què d'una producció mensual de 61.500 unitats passen a assolir l'objectiu de 80.000.

Tal i com s'ha comprovat en apartats anteriors, el Lead Time del procés es redueix considerablement per cadascun dels quatre tipus de serra de mà.

Malgrat haver establert un pulmó de seguretat a cada fase per valor d'una jornada de producció, l'inventari no només no ha crescut, sinó que s'ha vist reduït en un 13,5%.

La següent taula resumeix les xifres comentades:

Indicador	Procés tipus 1.1.	Procés tipus 1.2.	Procés tipus 1.3.	Procés tipus 1.4.
Temps d'entrega o Lead Time (dies)	<b>9</b> <b>(-66%)</b>	<b>5</b> <b>(-33%)</b>	<b>4</b> <b>(-64%)</b>	<b>4</b> <b>(-56%)</b>
Temps total de creació de valor (hores)	5,17 (igual)	6,84 (igual)	0,34 (igual)	0,02 (igual)

Indicador	Procés tipus 1.1.	Procés tipus 1.2.	Procés tipus 1.3.	Procés tipus 1.4.
Inventari de corones a la línia -WIP- (unitats)	30.500 (-13,5%)			
Producció (unitats/mes)	80.000 (+16,9%)		32.500 (igual)	15.000 (igual)

TAULA 58, DADES SIGNIFICATIVES DEL MODEL PROPOSAT I INCREMENTS RESPECTE ESTAT INICIAL

Es poden observar també entre parèntesis els corresponents increments respecte a l'estat inicial.

### 13.BIBLIOGRAFIA

Womack, J. P., & Jones, D. T. (2005). *Lean thinking : cómo utilizar el pensamiento Lean para eliminar los despilfarros y crear valor en la empresa*. Madrid: Gestión 2000.

Cuatrecasas Arbós, L. (2011). *Organización de la producción y dirección de operaciones: sistemas actuales de gestión eficiente y competitiva*. Madrid: Díaz de Santos.

Chiarini, A. (2013). *Lean Organization: from the tools of the Toyota Production System to Lean Office*. Milan, Italia: SPRINGER.

Farrero, J. M., & Hortal, M. A. (1990). *El método de producción just-in-time y su control mediante el kanban*. Madrid: CEURA.

Gao, S., & Pheng Low, S. (2014). *Lean Construction Management, The Toyota way*. Singapur: SPRINGER Science+Business Media.

Goldratt, E. M., & Cox, J. (2005). *La Meta, Un proceso de mejora continua*. España: EDICIONES DÍAZ DE SANTOS.

Krieg, G. N. (2005). *Kanban-Controlled Manufacturing Systems*. Berlin, Alemania: SPRINGER.

Liker, J. K. (2010). *Las claves del éxito de Toyota*. Barcelona: Gestión 2000.

Monden, Y. (2007). *El Just in Time hoy en Toyota*. Bilbao: EDICIONES DEUSTO, S.A.

Sekine, K. (1993). *Diseño de células de fabricación : transformación de las fábricas para la producción en flujo*. Cambridge: Productivity Press.

## 14. ÍNDEX DE FIGURES

<i>Imatge 1, organigrama de l'empresa</i>	12
<i>Imatge 2, mapa de processos de C&amp;S, SL</i>	13
<i>Imatge 3, layout o planta de la fàbrica</i>	14
<i>Imatge 6, imatge de corona de tall</i>	21
<i>Imatge 7, exemple Value Stream Map</i>	29
<i>Imatge 8, Kanban de Producció i Kanban de Transport</i>	32
<i>Imatge 10, optimització del volum en els transports</i>	38
<i>Imatge 11, esquema del layout de planta en la situació inicial</i>	42
<i>Imatge 12, lead time sin urgencias</i>	45
<i>Imatge 13, efecte de les urgències dins del lead time</i>	46
<i>Imatge 14, simulació targes als contenidors de corones del supermercat</i>	48
<i>Imatge 16, layout de planta model àsia</i>	56
<i>Imatge 17, diagrama ot de les fases externalitzades a l'Àsia</i>	58
<i>Imatge 19, layout planta model dins de la província</i>	70
<i>Imatge 20, diagrama ot de les fase 2 a 5</i>	72
<i>Imatge 22, layout model dins de planta</i>	83

## 15. ÍNDEX DE TAULES

Taula 1, relació de productes i els seus processos	14
Taula 2, relació de facturació i producció per famílies	15
Taula 3, relació de tipus de serres de mà, procés i objectiu mensual	16
Taula 4, flux productiu serres de mà tipus 1.1	17
Taula 5, flux productiu serres de mà tipus 1.2.	18
Taula 6, flux productiu serres de mà tipus 1.3.	18
Taula 7, flux productiu serres de mà tipus 1.4.	19
Taula 8, relació tipus de serra cinta	20
Taula 9, flux productiu de serra cinta de carboni	21
Taula 10, relació de tipus de corones	22
Taula 11, flux productiu de corones	23
Taula 12, icones estàndard en el disseny del VSM	31
Taula 13, resum de la relació de costos associada al model inicial	40
Taula 14, repartiment del Lead time	40
Taula 15, distància transports interns a planta	43
Taula 16, simulació de canvis d'utilitatges al model inicial	44
Taula 17, costos del transport extern a l'estat inicial	46
Taula 18, capacitat de prestar operaris a altres fases i seccions	49
Taula 19, Indicadors vsm de l'externalització àsia	52
Taula 20, comparativa unitats estoc fase 7 entre model actual i estat inicial	55
Taula 21, comparativa unitats estoc fase 7 entre model actual i estat inicial	55
Taula 22, transports interns model asiàtic	57
Taula 23, transports externs de material model externalització a l'Àsia	57
Taula 24, relació entre inventari i lead time a les fases 2 a 5	59
Taula 25, relació entre capacitats i pulmó de les fases a l'externalització a l'Àsia	59
Taula 26, percentatge d'ocupació prevista per fases	61
Taula 27, fases productives ordenades per capacitat de producció	62
Taula 28, resum de la relació de costos associada al model inicial	64
Taula 29, Indicadors vsm de l'externalització dins la pròpia província	67
Taula 30, transports interns model a la mateixa província	71
Taula 31, transport externs de material pròpia província	71
Taula 32, relació entre inventari i lead time a les fases 2 a 5	72
Taula 33, relació entre capacitats i pulmó de les fases a l'externalització dins la província	73
Taula 34, percentatge d'ocupació prevista per fases	74
Taula 35, fases productives ordenades per capacitat de producció	75
Taula 36, resum de la relació de costos associada al model externalització dins de la província	77
Taula 37, Indicadors vsm model intern a línia	80
Taula 38, transport intern de material model dins de planta	84
Taula 39, transports externs de material model dins de planta	84
Taula 40, comparació de característiques de la fase 3 entre el model i l'estat inicial	85
Taula 41, relació entre capacitats i pulmó de les fases a dins de línia	86
Taula 42, percentatge d'ocupació prevista per fases	87
Taula 43, fases productives ordenades per capacitat de producció	88
Taula 44, comparativa de característiques fase3 entre els models presentats	88
Taula 45, resum de la relació de costos associada al model intern a la línia	89
Taula 46, model inicial de serres de mà, relació entre Indicadors vsm i processos.	94
Taula 47, serres de mà, capacitats i Percentatges d'ocupació per fases	95
Taula 48, model futur per serres de mà, indicadors del vsm	97
Taula 49, comparació característiques fase 3 entre model inicial i futur	98
Taula 50, relació entre capacitats i ocupació prevista de les fases	98
Taula 51, fases ordenades per ocupació prevista	99
Taula 52, comparativa de característiques fase 3 entre estat inicial i el proposat	99
Taula 53, relació dels aspectes mediambientals segons l'activitat	101
Taula 54, comparació entre lead time i temps de procés pels tres models	105
Taula 55, comparació de transports interns entre els models.	106
Taula 56, comparació de costos de transport extern entre els 3 models i l'inicial	106
Taula 57, gestió TOC. comparativa entre models. conclusions	107



*Taula 58, dades significatives del model proposat i increments respecte estat inicial*\_\_\_\_\_ 109

